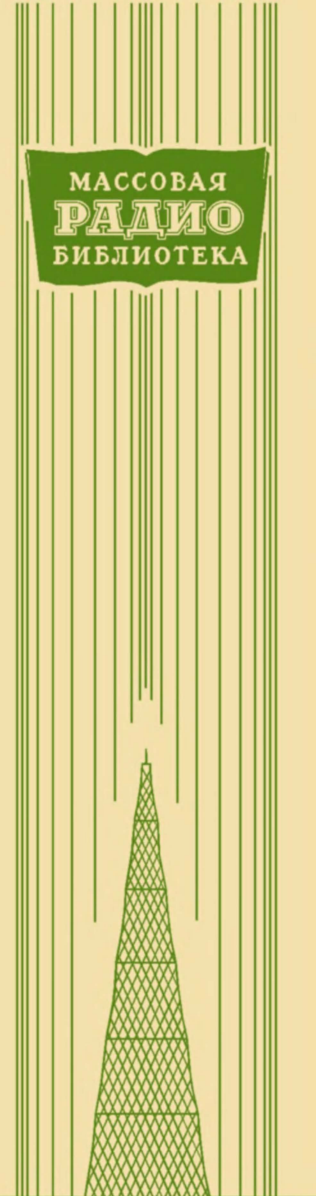
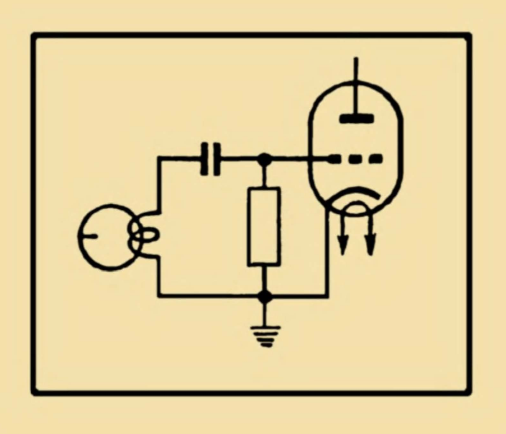


В. Г. КОРОЛЬКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 339

В. Г. КОРОЛЬКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматриваются электрические схемы усилителей и генераторов, используемых в магнитофонах. Приведена классификация этих схем и даны некоторые способы расчета.

Книга рассчитана на читателей, знакомых с физическими основами магнитной звукозаписи и занимающихся конструированием или эксплуатацией магнитофонов.

Автор *Корольков Вадим Георгиевич*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ

* * *

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 26/III 1959 г. Подписано к печати 20/V 1959 г
Формат бумаги 84 108[1]/32 6,56 п. л. 7,5 уч.-изд. л.
Г-06408 Тираж 60 000 Цена 3 р. Зак. № 161

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Большое разнообразие электрических схем в современных магнитофонах, описания которых часто публикуются, всегда вызывает у конструктора вопросы: какая из схем лучше? Как сделать правильный выбор?

Однако все эти схемы могут быть классифицированы по своим эксплуатационным свойствам и качественным показателям, которые они обеспечивают. Тогда выбор схемы по заданным требованиям намного облегчается. Кроме того, усилители, генераторы, корректоры и другие узлы, из которых составляются схемы, выполняются в настоящее время по нескольким, ставшим почти типовыми вариантам.

В данной книге сделана попытка провести классификацию электрических схем магнитофонов, а также дать анализ их работы. Основное внимание уделяется построению отдельных узлов схем, их принципиальным особенностям и в некоторых случаях — способу расчета.

Все это облегчит читателю разбор встретившихся ему на практике схем магнитофонов, так как в них он найдет уже знакомые (по данной книге) электрические узлы.

Конкретные данные электрических величин в схемах, как правило, не указываются, так как они должны выбираться конструктором самостоятельно в зависимости от требований, предъявляемых к магнитофону, от типа радиоламп, от способа электропитания и других заданных условий.

В. Корольков

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СКЕЛЕТНЫЕ СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Скелетной схемой называется условное изображение электрических узлов какого-либо устройства и соединений между ними. По сравнению с принципиальной схемой скелетная более наглядно показывает составные части устройства, функциональную связь между ними и основную коммутацию. Эта наглядность достигается тем, что в скелетных схемах изображают лишь главнейшие части и используют упрощенную систему обозначений: узлы изображают прямоугольниками и кружками с соответствующими значками, а соединения между ними дают в однопроводном изображении.

Ознакомление с тем или иным магнитофоном целесообразно начинать с разбора его скелетной схемы. При разработке нового аппарата тоже начинают с выбора и составления скелетной схемы. Потом переходят к составлению принципиальной схемы и ее экспериментальной проверке с целью уточнения данных отдельных деталей. Когда принципиальная схема отработана, разрабатывают конструкцию и составляют монтажную схему магнитофона. Поэтому мы также начнем рассмотрение электрических схем магнитофона со скелетных схем. Как правило, эти схемы не показывают электропитания отдельных узлов и вспомогательных электрических цепей (например, сигнализации). В необходимых случаях скелетная схема электропитания дается отдельно.

Скелетные схемы магнитофонов весьма разнообразны. Это объясняется различным назначением магнитофонов и различными требованиями, предъявляемыми к ним. Главные особенности магнитофонов с точки зрения построения их скелетных схем следующие:

1. Наличие чувствительного (например, для работы от

микрофона) или нечувствительного (например, для работы от радиоприемника) входа магнитофона.

2. Наличие раздельных усилителей записи и воспроизведения или общего универсального усилителя, или корректора записи и усилителя воспроизведения, или другой комбинации этих узлов.

3. Количество и тип магнитных головок.

4. Наличие или отсутствие мощного выхода магнитофона, достаточного для прослушивания на собственный громкоговоритель.

5. Наличие или отсутствие «стирания» ленты во время записи, а также осуществление генератора высокой частоты на отдельной лампе или в комбинации с одной из ламп усилителя.

Кроме перечисленных, имеется еще ряд особенностей, влияющих на скелетную схему: наличие регулятора тембра, искусственной реверберации при записи, возможность осуществлять так называемые «трюковые» записи, способ переключения магнитофона с воспроизведения на запись, способ выбора того или иного источника входного сигнала и ряд других.

Для лучшего ознакомления с различными скелетными схемами мы разберем главнейшие из применяемых в настоящее время. Следует сказать, что, конечно, не обязательно каждый вновь разрабатываемый магнитофон надо осуществлять по одной из таких схем. Скелетная схема является объектом творчества конструктора и должна составляться им в соответствии с назначением магнитофона. Разбирая типовые схемы, мы хотим лишь помочь конструктору в освоении технико-логических принципов, которые положены в основу любой скелетной схемы.

2. СКЕЛЕТНЫЕ СХЕМЫ

На рис. 1 показана скелетная схема, по которой строятся стационарные магнитофоны профессионального назначения, используемые в аппаратных киностудий и радиовещания. Входной сигнал через разрывное гнездо $Г_1$ поступает на усилитель записи *УЗ*, выход которого нагружен на головку записи *ГЗ*. Генератор высокой частоты *ГВЧ* (часто объединяемый по схеме и конструктивно с усилителем записи) питает током высокой частоты головки стирания *ГС* и записи *ГЗ*. Сигнал, воспроизводимый с ленты воспроизводящей головкой *ГВ*, усиливается усили-

телем воспроизведения *УВ* и поступает через переключатель $П_1$ на выход магнитофона.

Характерным для этой схемы является наличие раздельных усилителей записи и воспроизведения, которые при записи работают одновременно и образуют так называемый «сквозной канал» записи — воспроизведения (при всех остальных рабочих режимах магнитофона усилитель записи и генератор высокой частоты выключаются посредством снятия с них анодного напряжения).

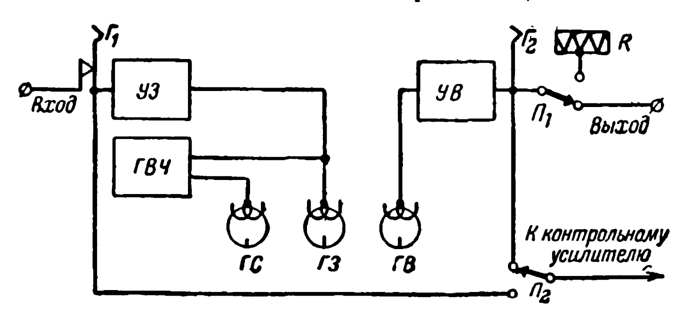


Рис. 1. Скелетная схема стационарного магнитофона.

Благодаря сквозному каналу можно в процессе записи контролировать ее качество, воспроизводя фонограмму с незначительным запозданием, определяемым временем пробега ленты от записывающей до воспроизводящей головки. Такой контроль позволяет своевременно заметить возможные недостатки в записи и оперативно принять меры, чтобы они не повторялись, или в крайнем случае прервать и повторить запись. Только контроль в сквозном канале является действительной гарантией хорошей записи и особенно тех ее сторон, которые определяются движением ленты и ее качеством. Особенно важно иметь такой контроль в устройствах профессиональной звукозаписи.

Переключатель $П_2$ позволяет вести контроль записи путем сопоставления звучания на входе и выходе магнитофона или, как говорят, до и после ленты. При помощи этого переключателя контрольный усилитель с громкоговорителем (не входящие в состав магнитофона) могут подсоединяться к входу или выходу магнитофона. Сопоставительный контроль — самый жесткий контроль качества звучания. Часто последующее прослушивание не позволяет обнаружить те дефекты, которые, однако, слышны при сопоставительном контроле, когда практически

без паузы сравниваются оригинал и запись. Для облегчения контроля перекидка переключателя $П_2$ должна производиться легко и быстро.

Сопоставительный контроль наиболее точен, когда сличаются сигналы одинакового уровня. Поэтому наилучшим режимом работы для магнитофонов, собранных по данной скелетной схеме, является тот, при котором на вход подается напряжение, равное выходному. Такой режим устанавливается при помощи регуляторов усиления в каждом из усилителей. Эти же регуляторы позволяют компенсировать неизбежный разброс и изменение во времени качественных показателей магнитных головок, электронных ламп и различие свойств магнитных лент, применяемых для записи.

Так как магнитофоны подобного типа рассчитаны на использование в комплекте с другим оборудованием аппаратной звукозаписи, они имеют лишь так называемый «линейный вход», т. е. их чувствительность по входу составляет обычно 1,5 — 6 *в* и не рассчитана на непосредственное подключение микрофона. Объясняется это тем, что в профессиональных условиях запись производится чаще всего с нескольких микрофонов. Усиление и смешение токов отдельных микрофонов производятся в специальном устройстве (микшерском усилителе), к выходу которого подключаются все магнитофоны в аппаратной.

Магнитофон со скелетной схемой, приведенной на рис. 1, не имеет мощного выхода. Выходная мощность усилителя воспроизведения обычно не превышает 0,1 *вт*, а выход рассчитан на подключение нагрузки в пределах от 200 до 600 *ом*. Поэтому для громкоговорящего контроля звучания необходим внешний контрольный усилитель с громкоговорителем. Эта «неполноценность» скелетной схемы вполне оправдана для условий работы профессиональной аппаратной звукозаписи. В такой аппаратной для обеспечения непрерывной работы используют не меньше двух магнитофонов, а по соображениям резервирования число их часто доходит до четырех. Прослушивание же ведется одновременно только с одного магнитофона. Поэтому неэкономно и нецелесообразно иметь в составе каждого магнитофона свой мощный усилитель и тем более громкоговоритель. Последний должен быть для получения высокого качества звучания вынесен из магнитофона и расположен в специальном (по акустике) ящике. Обычно в одном ящике с громкоговорителем располагают и мощ-

ный усилитель, называя их вместе контрольным агрегатом.

Выходной уровень магнитофона, как говорилось ранее, целесообразно выбирать таким же, как и входной, т. е. в пределах 1,5 — 6 *в* (максимальное эффективное значение). Выбор меньшего уровня приводит к чрезмерному усложнению индикатора уровня и контрольного усилителя (последний придется делать с большим усилением). Это обстоятельство при совмещении усилителя с громкоговорителем в одном контрольном агрегате может служить причиной акустического самовозбуждения. Кроме того, при малом выходном уровне усложняется экранировка линий, так как действие различных помех становится относительно сильнее. Нецелесообразно выбирать выходной уровень и выше указанных пределов, так как это усложняет усилитель воспроизведения или повышает в нем нелинейные искажения.

Отметим попутно, что, как видно из рис. 1, схема не содержит индикатора уровня. Это объясняется тем, что источником сигналов низкой частоты для данного магнитофона служит микшерский усилитель, в котором сосредоточены как органы регулировки, так и органы контроля уровня. Поэтому отдельного индикатора уровня в самом магнитофоне не требуется. Иногда вместо него в магнитофоне имеется купроксный вольтметр, который служит для настройки аппарата перед началом работы. Такой вольтметр по схеме подключается параллельно выходу на контрольный усилитель и при помощи переключателя $П_2$ может подсоединяться для измерения как входного, так и выходного напряжения.

В заключение разбора этой скелетной схемы остановимся на ее вспомогательных деталях. Переключатель $П_1$ позволяет подключать выход усилителя воспроизведения или к выходной линии магнитофона, соединяющей его с нагрузкой, или к сопротивлению R, эквивалентному нормальной нагрузке. При помощи этого переключателя можно отсоединить магнитофон от общей схемы аппаратной по выходу, а включением штепселя в разрывное гнездо $Г_1$ — и по входу. Необходимость в такой автономии магнитофона встречается, например при производстве контрольных измерений (когда в гнездо $Г_1$ подключают генератор, а в гнездо $Г_2$ измерительную аппаратуру и когда нежелательно, чтобы сигналы измерений поступали в остальную схему аппаратной), а также при перезаписи, ко-

торая может производиться с одного магнитофона на другой, минуя аппаратную. В последнем случае коммутационным шнуром соединяют гнездо Γ_2 одного магнитофона с гнездом Γ_1 второго, а переключатель Π_1 на обоих магнитофонах ставят в положение *«эквивалент»* (выход усилителя подключают к сопротивлению R).

Переключатель Π_1 используется, кроме того, при воспроизведении для подключения магнитофона к потребителю в желательные моменты времени и, наоборот, для

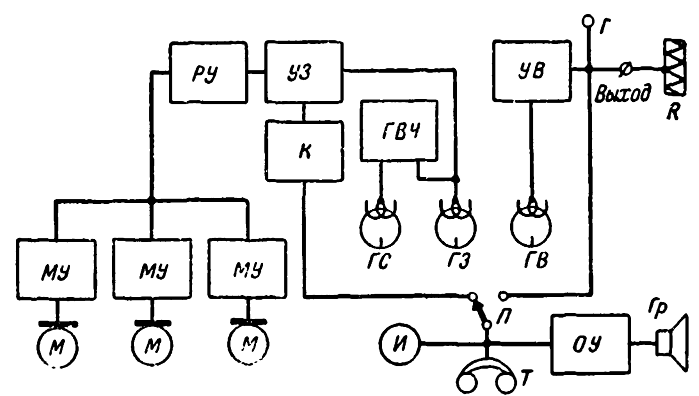


Рис. 2. Скелетная схема переносных и перевозных магнитофонов профессионального применения.

отключения магнитофона в нежелательные моменты (например, во время перемотки ленты).

Переходим к разбору второй скелетной схемы, показанной на рис. 2. Она используется также в магнитофонах профессионального назначения, но не стационарных, а переносных или перевозных. К числу их относятся переносные репортажные магнитофоны, магнитофоны, смонтированные в автомашинах, магнитофоны, используемые в экспедициях, и т. п.

В отличие от стационарных эти магнитофоны работают без какой-либо дополнительной аппаратуры и в их составе должны быть все элементы, обеспечивающие запись и воспроизведение (от микрофона до контрольного громкоговорителя). Запись может производиться с нескольких микрофонов (от двух до четырех). Каждый микрофон *М* подключен к отдельному микрофонному усилителю *МУ*, усиление которого регулируется. В простейшем случае микрофонный усилитель может быть выполнен в виде од-

ного каскада усиления. Выходы микрофонных усилителей соединяются вместе и поступают на общий регулятор усиления *РУ*. Если магнитофон имеет только два микрофонных входа, то общий регулятор не нужен. В некоторых случаях, кроме микрофонных, предусматривают один или два линейных входа, к которым подключаются источники с бо́льшей э. д. с., например трансляционная линия, выход магнитофона, радиоприемник и т. д. Линейный вход через индивидуальный регулятор усиления подключается к входу общего регулятора усиления.

После общего регулятора сигнал поступает на дальнейшее усиление в усилитель записи *УЗ*, выход которого нагружен на записывающую головку *ГЗ*. Генератор высокой частоты *ГВЧ* включен, как и в предыдущей скелетной схеме. Усиление воспроизводимого сигнала осуществляется с помощью усилителя воспроизведения *УВ*, выход которого подключен к внешним выходным зажимам и контрольному гнезду *Г*. Отсюда напряжение может подаваться на нагрузку (например, при перезаписи на вход другого магнитофона). При измерениях в гнездо *Г* включается измерительная аппаратура. Когда нагрузки нет, выходные зажимы замкнуты на эквивалентное сопротивление *R*.

Как и в схеме на рис. 1, здесь благодаря наличию раздельных усилителей записи и воспроизведения имеется сквозной канал. Сопоставительный контроль ведется при помощи переключателя *П*, подсоединяющего оконечный усилитель *ОУ* и громкоговоритель *Гр*, входящие в состав магнитофона, то к выходу *УВ*, то к *УЗ*. Одновременно переключается и индикатор уровня *И*. Вывод для контроля от усилителя записи должен браться от такой точки его схемы, где напряжение равно или достаточно близко по величине к напряжению на выходе *УВ*. Если эта точка находится после того каскада усилителя, где осуществлена необходимая при записи частотная коррекция, то для устранения различия в звучаниях сигналов, сравниваемых при сопоставительном контроле, необходимо ввести корректор *К*, который исправляет сигнал.

Такой корректор представляет обычно простой *RC*-фильтр, частотная характеристика затухания которого совпадает с частотной характеристикой коррекции в усилителе записи. В последнем желательно иметь установочный регулятор усиления, расположенный после той точки схемы, откуда берется напряжение для сопоставительно-

го контроля. Этим регулятором можно компенсировать разброс качественных показателей лент и головок, не нарушая равенства сравниваемых при контроле напряжений.

Переключатель *П* позволяет звукооператору до начала записи, а также во время репетиций слушать через громкоговоритель все происходящее вблизи микрофонов, которые часто удалены на большое расстояние и даже находятся вне пределов видимости. Благодаря слуховому контролю оператор получает возможность быть в этом случае

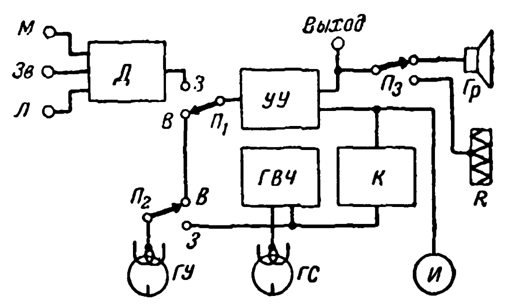


Рис. 3. Первая скелетная схема магнитофона домашнего пользования.
В — воспроизведение; *З* — запись.

в курсе событий, а также судить по звучанию и показаниям индикатора уровня о правильности расстановки микрофонов. Как только запись начинается, звукооператор переключает оконечный усилитель и индикатор уровня на выход усилителя воспроизведения и так ведет контроль в процессе всей записи, прибегая лишь к кратковременным сопоставлениям звучания до и после ленты при помощи переключателя *П*. Громкость прослушивания можно регулировать, только изменяя усиление в оконечном усилителе. Изменение усиления в усилителе воспроизведений для этого недопустимо, так как нарушает калибровку индикатора уровня, производимую предварительно перед записью по контрольной испытательной ленте (тестфильму).

Если микрофоны расположены недалеко от магнитофона, громкоговорящим контролем пользоваться не удается, так как из-за акустической обратной связи возможно самовозбуждение. В этом случае контроль ведется на головные телефоны, которые включаются на вход оконечного усилителя.

Рассмотрим скелетную схему, приведенную на рис. 3. По этой схеме осуществлено большинство магнитофонов

домашнего пользования и часть диктофонов. Эта схема проще ранее приведенных, так как в ней вместо раздельных усилителей записи и воспроизведения применен один универсальный усилитель *УУ*.

Источники низкой частоты микрофон *М*, звукосниматель *Зв* и линия *Л* трансляционная или с выхода радиоприемника подключаются в соответствующие гнезда схемы. Благодаря делителю *Д* напряжения, создаваемые этими тремя источниками, приводятся к одному уровню (обычно к уровню микрофона) и поступают при записи через переключатель $П_1$ на вход усилителя. Последний имеет два выхода: один, рассчитанный на подключение громкоговорителя *Гр*, а другой — с бóльшим выходным напряжением для подключения магнитной головки. В режиме записи ко второму выходу через корректор *К* и переключатель $П_2$ подсоединяется универсальная (записывающая и воспроизводящая) головка *ГУ*. Корректор представляет собой пассивный четырехполюсник, обеспечивающий необходимый подъем частотной характеристики на высоких частотах. Одновременно при записи включается анодное питание генератора высокой частоты *ГВЧ* для получения стирания и подмагничивания ленты.

Если запись производится с звукоснимателя или линии, то можно на выходе усилителя контролировать качество звучания с помощью громкоговорителя. Конечно, это не контроль в сквозном канале и никакого представления о фонограмме на ленте он не дает, но все же позволяет судить о качестве и характере звучания, соответствующего сигналам, вырабатываемым входным источником. При записи с микрофона (обычно расположенного недалеко от такого магнитофона) громкоговоритель приходится выключать. Переключатель $П_3$ подсоединяет при этом к выходу усилителя сопротивление *R*, являющееся эквивалентом нагрузки. Контроль звучания можно вести на телефонные трубки, включаемые в гнездо «*Выход*». Это же гнездо используют для подачи напряжения низкой частоты куда-либо вне магнитофона, например на вход мощного усилителя трансляционного узла, гнезда для звукоснимателя в радиоприемнике, для подсоединения дополнительного громкоговорителя и, наконец, для подсоединения измерительной аппаратуры при испытаниях.

В некоторых магнитофонах переключатель $П_3$ связывают с включением микрофона так, что при этом громкоговоритель автоматически выключается. В остальных случа-

ях по желанию оператора переключателем можно включать или выключать громкоговоритель.

Контроль уровня записи производится с помощью индикатора *И*, откалиброванного так, что при его максимальном показании и магнитной ленте среднего качества (типовой) обеспечивается максимально допустимая намагниченность.

Во всех режимах работы, кроме записи (т. е. в режимах остановки, воспроизведения, ускоренных перемоток ленты), схема магнитофона переключается на воспроизведение. При этом *ГВЧ* выключается, на вход усилителя через $П_1$ подсоединяется универсальная головка, а на выход — громкоговоритель. Указанная коммутация осуществляется кнопкой «*Запись*» или переключателем рода работ на лентопротяжном механизме магнитофона. Это гарантирует от случайного стирания записи во время воспроизведения или при перемотках ленты.

Если при записи частотная характеристика усилителя относительно прямолинейна и горизонтальна, то при воспроизведении ее форма должна соответствовать приведенной далее на рис. 22. Достигается это изменением схемы усилителя при переходе с записи на воспроизведение.

Следует отметить, что и при записи необходимая коррекция может быть осуществлена в самом усилителе, а не в отдельном корректоре *К*, надобность в котором тогда отпадает. Однако этот вариант менее желателен, так как при нем громкоговорящий контроль во время записи неприятен на слух из-за действия коррекции в усилителе (звучание становится резким, с обилием свистящих и шипящих звуков).

Регулятор усиления в усилителе служит при записи регулятором уровня записи, а при воспроизведении регулятором громкости прослушивания. Обычно в схеме усилителя имеется регулятор тембра, который используется при воспроизведении для подбора приятного на слух звучания. При записи регулятор тембра выключается. Индикатор уровня при воспроизведении может отключаться. Все указанные изменения в схеме усилителя производятся автоматически при переходе с записи на воспроизведение.

Остановимся на некоторых вариантах этой же скелетной схемы. Входная часть схемы, показанной на рис. 3, обладает тем недостатком, что допускает непроизвольное смещение сигналов, поступающих от всех трех источников низкой частоты; например, если в гнездо *Л* подклю-

чить трансляционную линию, то запись с микрофона и звукоснимателя будет производиться в сопровождении трансляционных передач. Это неудобство может быть устранено. если входную часть построить по схеме рис. 4,*а*. В ней переключатель $П_1$ усложнен и позволяет не только переключать усилитель с воспроизведения на запись, но и выбирать тот или иной источник низкой частоты. При такой схеме все источники (микрофон, звукосниматель, линия) могут быть постоянно подсоединены к магнитофону без возникновения взаимных помех друг другу при записи. В первом положении переключателя (запись с микрофона) нетрудно осуществить автоматическое отсоединение громкоговорителя, разместив на общей оси с $П_1$ второй переключатель, включенный последовательно с $П_3$ (см. рис. 3).

Недостатком входных частей схем, показанных на рис. 3 и 4,*а*, является излишняя сложность, так как для них необходимо иметь три входных гнезда. На рис. 4,*б* показана более простая схема с одним входным гнездом, в которое включаются по желанию и микрофон, и звукосниматель, и линия. Однако в эксплуатации эта схема менее удобна, так как в ней для перехода от одного источника низкой частоты к другому требуется каждый раз отключать от гнезда ненужный и подключать требуемый источник.

Скелетная схема, показанная на рис. 3, может несколько видоизменяться, если количество магнитных головок будет больше двух. Иногда по соображениям, излагаемым далее, выгодно вместо одной универсальной применять раздельные головки записи и воспроизведения, тогда схема принимает вид, показанный на рис. 5. Включение записывающей головки *ГЗ* производится вместе с включением генератора высокой частоты при нажатии кнопки «запись» на лентопротяжном механизме.

Некоторое применение в магнитофонах для домашнего пользования находят универсальные магнитные головки

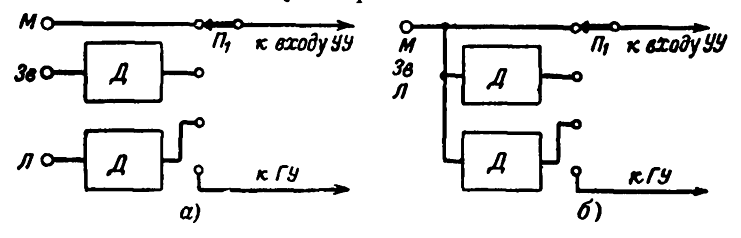


Рис. 4. Скелетные схемы входа.

с отводом от обмотки. Вся обмотка такой головки включается при воспроизведении, а ее меньшая часть — при записи. Для включения универсальной головки с отводом применяют ту же схему, что и на рис. 5, с той лишь разницей, что провод *а* соответствует концу, а провод *б* — отводу от обмотки головки, начало которой соединено с точкой нулевого потенциала.

Количество головок в магнитофоне удваивается, когда хотят получить двухдорожечную запись и воспроизведение, не прибегая к переворачиванию и перекладыванию кассет,

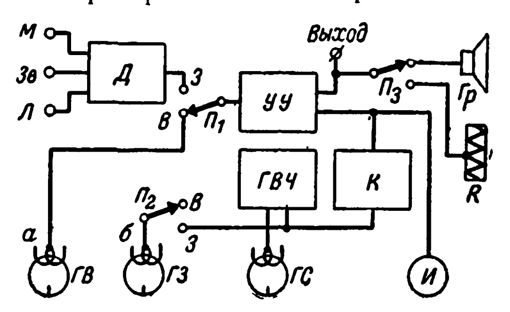


Рис. 5. Вторая скелетная схема магнитофона домашнего пользования.
В — воспроизведение; *З* — запись

а лишь изменяя направление рабочего хода ленты. В этом случае приходится устанавливать по комплекту головок для нижней и верхней дорожек. Переход в схеме с головок одного комплекта на головки другого осуществляется обычно при помощи реле одновременно с реверсированием двигателя и управляется отдельным переключателем на лентопротяжном механизме: первая дорожка — вторая дорожка. Схема такой коммутации головок не приводится ввиду ее простоты.

Переходим к скелетной схеме, показанной на рис. 6. Эту схему можно рекомендовать для магнитофонов домашнего пользования, более дорогих, чем те, которые собираются по схеме рис. 3. Она более сложна, в ней больше деталей, но зато и больше эксплуатационных возможностей. Характерным является наличие в схеме трех магнитных головок и двух усилителей — воспроизведения, имеющего обычно не более двух каскадов и универсального. Благодаря отдельному усилителю воспроизведения *УВ*, в котором осуществляется вся частотная коррекция сигналов, воспроизводимых с ленты, и корректору *К*, осущест-

вляющему всю коррекцию, необходимую при записи, универсальный усилитель *УУ* имеет неизменяемую частотную характеристику, практически прямолинейную и горизонтальную как при записи, так и при воспроизведении. Никакой перестройки в этом усилителе при переходе с записи на воспроизведение не требуется. Это обстоятельство плюс раздельные головки записи и воспроизведения намного упрощают коммутацию. В данной схеме усилитель теряет многие черты универсального усилителя, так как остается неизменным и при записи и при воспроизведении. Мы его

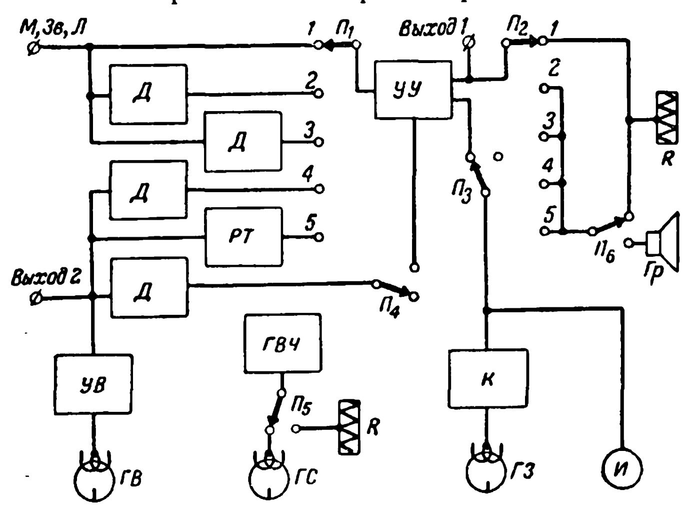


Рис. 6. Третья скелетная схема магнитофона домашнего пользования.

будем называть универсальным только потому, что он работает и при записи и при воспроизведении.

Переключатель вида работ магнитофона $П_1$ имеет пять положений. Положения *1*, *2* и *3* соответствуют записи с микрофона, звукоснимателя и линии подобно тому, как это было рассмотрено в схеме рис. 4,*б*. Сигнал от источника низкой частоты, включенного во входное гнездо, попадает на универсальный усилитель и с его выхода (с большим напряжением) через переключатель $П_3$ и корректор *К* поступает на записывающую головку *ГЗ*. Одновременно напряжение поступает и к индикатору уровня *И*. Переключатель $П_3$ замыкается при нажатии на лентопротяжном механизме кнопки «запись». При этом включается также анодное напряжение на генератор высокой частоты.

Во время записи можно при желании вести слуховой контроль, включив переключателем $П_6$ громкоговоритель *Гр*, за исключением случая записи с микрофона, когда во избежание акустической обратной связи цепь громкоговорителя автоматически разрывается переключателем $П_2$, расположенным на одной оси с $П_1$.

Воспроизведение возможно в двух положениях (*4* и *5*) переключателя рода работ. В положении *4* выход усилителя воспроизведения *УВ* через делитель *Д* подсоединяется к входу универсального усилителя *УУ*, а в положении *5* вместо делителя включается регулятор тембра *РТ*. Делитель уравнивает усиление схемы на средних частотах с включенным и выключенным регулятором тембра. Такое двухпозиционное воспроизведение имеет свои преимущества. При воспроизведении через громкоговоритель магнитофона целесообразно включать регулятор тембра, т. е. ставить переключатель в положение *5*. Регулятор тембра не только позволяет подобрать по вкусу приятное на слух звучание, но и дает возможность частично компенсировать дефекты акустики ящика магнитофона и дефекты громкоговорителя.

Но бывают случаи, когда воспроизведение производится через внешнюю высококачественную электроакустическую систему, например хороший радиоприемник, имеющий свой регулятор тембра, или широкополосный громкоговорящий агрегат. Тогда регулятор тембра магнитофона не нужен, и воспроизведение целесообразно вести в положении *4* переключателя $П_1$. Возможность выключения регулятора тембра удобна и при проведении испытаний магнитофона, когда иначе трудно узнать, в каком положении регулятора следует получать равномерную частотную характеристику воспроизведения.

Схема содержит два выходных гнезда. Гнездо «*Выход 1*» используется для подключения внешнего громкоговорителя, внешнего усилителя, контрольных телефонов и измерительной аппаратуры, а гнездо «*Выход 2*» служит во время записи выходом сквозного канала. Однако напряжение в этом гнезде мало, и слуховой контроль по воспроизведению с ленты можно вести только с применением дополнительного усилителя, например от радиоприемника. Для этого гнездо «*Выход 2*» соединяется с гнездами для подключения звукоснимателя. Гнездо «*Выход 2*» удобно во время измерений, при снятии частотной характеристики сквозного канала, выборе подмагничивания, установке

правильного положения записывающей и стирающей головок, так как позволяет сразу, а не при последующем воспроизведении оценивать получаемый результат.

Сквозной канал позволяет создавать искусственную реверберацию (эхо). Если во время записи замкнуть переключатель $П_4$, то напряжение с выхода усилителя воспроизведения через делитель попадает в канал записи, записывается на ленту, снова воспроизводится и т. д., создавая имитацию серии отраженных от стен помещения звуков. Делителем, включенным последовательно с $П_4$, можно регулировать скорость затухания искусственных эхо-сигналов и создавать впечатление записей в различных по объему помещениях.

Для того чтобы эхо-сигналы имели на слух непрерывное звучание, а не представляли серию раздельно слышимых затухающих повторений, необходимо, чтобы они следовали друг за другом не более чем через 0,1 *сек*. Так как в данной схеме это время определяется пробегом ленты между записывающей и воспроизводящей головками, необходимо их, по возможности, сближать (для чего используют малогабаритные головки), а скорость ленты выбирать не менее 19 *см/сек*. Получение в схеме искусственной реверберации позволяет делать записи более интересными по звучанию. Это особенно относится к музыкальным записям. Реверберацию можно включать временами, например, выделяя этим солиста от аккомпанемента.

В схеме имеется еще одна возможность получения искусственных записей; для этой цели служит переключатель $П_5$ (так называемая кнопка «трюк»). Он позволяет во время записи отсоединить головку стирания *ГС*. При этом старая запись, бывшая на ленте, стирается лишь частично за счет действия поля подмагничивания записывающей головки, и новая запись производится на фоне ослабленной старой. Такая трюковая запись полезна при создании комбинированных звуковых монтажей, при записи рассказа на фоне музыки (например, пояснения к любительскому кинофильму) и в других подобных случаях.

Чтобы не изменять сильно режим работы генератора высокой частоты при отключении головки стирания, к нему подсоединяется эквивалентное сопротивление, роль которого часто выполняет миниатюрная лампочка. Свечение ее является одновременно сигналом включения трюковой записи.

Как уже говорилось, скелетная схема, приведенная на

рис. 6, применяется в более дорогих моделях магнитофонов для домашнего пользования. Рассмотрим еще некоторые варианты ее усложнения, повышающие эксплуатационные возможности аппарата и поэтому вполне допустимые для магнитофонов данной группы. Входная часть схемы может быть выполнена так, как это показано на рис. 7. В отличие от схемы рис. 6 все возможные источники низкой частоты могут быть здесь заранее постоянно включены в соответствующие входные гнезда (*М, Зв, Л*). Уровень сигналов каждого из источников регулируется раздельно,

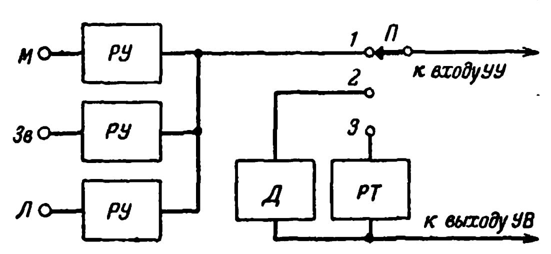


Рис. 7. Скелетная схема входа со смешением трех источников низкой частоты.

и, смешиваясь, они поступают на универсальный усилитель. Это позволяет плавно переходить в записи с одного источника на другой, делать записи с «наложением» и т. д. Переключатель $П_2$ схемы рис. 6 в данном случае отсутствует. Вместо него предусматривается разрывной контакт, отключающий громкоговоритель, когда в гнездо *М* включается микрофон. Управлять разрывным контактом надо дистанционно, при помощи какой-либо тяги или другого привода, так как выходные цепи усилителя нельзя приближать к микрофонному входу. При переходе на воспроизведение разрывной контакт блокируется.

При входной части, собранной по схеме рис. 7, искусственная реверберация может плавно регулироваться. Для этого коммутационным шнуром гнездо выхода *УВ* соединяется с одним из свободных входных гнезд аппарата, и регулятором уровня, соответствующим данному входу, можно в желательных пределах изменять время реверберации. Судить о величине реверберации можно, как и при схеме рис. 6, в процессе самой записи (на слух, через громкоговоритель).

Схема рис. 6 может быть применена и для двухдорожечной записи с двумя комплектами головок. Для этого

необходимо ввести в схему два реле (одно для переключения головок воспроизведения, а другое для переключения головок записи и стирания) и управлять ими одновременно с реверсированием двигателя.

Иногда необходимо стереть неудачную часть записи. Сделать это обычным путем, т. е. в процессе записи при закрытом регуляторе уровня (чтобы на ленту не наносилась новая запись) довольно трудно, так как легко можно ошибиться и стереть не весь требуемый участок ленты или, наоборот, стереть и нужную часть записи. Трудности объясняются отсутствием в этом случае слухового контроля фонограммы.

Для такого выборочного стирания отдельных участков ленты или, как говорят, для «редактирования» записи можно ввести в магнитофоне специальную кнопку «редактирование» и поставить после воспроизводящей головки (по ходу ленты) дополнительную головку стирания. Во время воспроизведения записи, в которую надо внести поправки, как только услышано начало участка фонограммы, подлежащего стиранию, нажимают кнопку «редактирование». При этом включается анодное напряжение на генератор высокой частоты и к выходу последнего подсоединяется дополнительная головка стирания. Кнопка нажата, и фонограмма стирается до тех пор, пока не услышано начало того участка, который уже не нужно стирать. При такой системе мы слышим стираемую часть фонограммы и благодаря контролю можем точно удалить ненужное из записи.

Чтобы при нажатии кнопки «редактирование» не включалась основная головка стирания и не подавалось подмагничивание на записывающую головку (что нарушило бы процесс редактирования), схема рис. 6 частично изменяется и принимает в своей высокочастотной части вид, показанный на рис. 8. В этой схеме переключатели $П_7$ и $П_6$ замыкают свои цепи только при нажатии на лентопротяжном механизме кнопки «запись».

Кнопка «редактирование» может быть введена, конечно, не только в схему рис. 6, но и в другие схемы. В частности, она очень полезна в диктофонах, собираемых обычно по схеме рис. 3, в которую можно внести дополнения, аналогичные по идее приведенным на рис. 8.

Переходим к рассмотрению более простых скелетных схем магнитофонов.

Первая из них изображена на рис. 9. Магнитофон, собранный по такой схеме, рассчитан в основном на совмест-

ную работу с радиоприемником. К числу таких магнитофонов относятся всевозможные приставки, использующие механизм грампроигрывателя, а также наиболее дешевые аппараты для домашнего пользования.

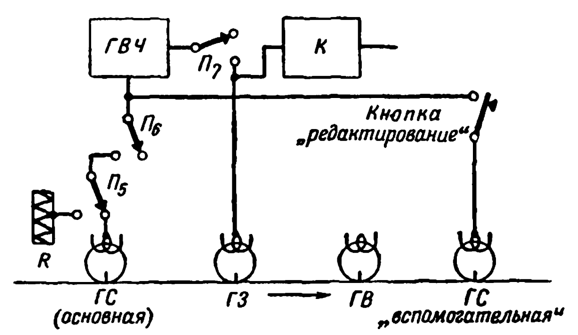


Рис. 8. Скелетная схема с двумя стирающими головками.

Схема рис. 9 не годится для записи с микрофона (кроме угольного), так как ее чувствительность по входу равна нескольким вольтам, и поэтому позволяет производить запись только с выхода радиоприемника или от трансляционной линии. Входной сигнал через регулятор уровня записи

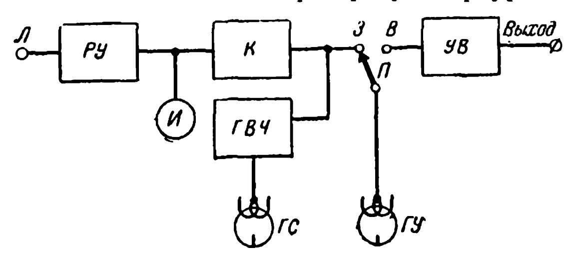


Рис. 9. Скелетная схема магнитофона, предназначенного для совместной работы с радиоприемником.
З — запись; *В* — воспроизведение.

и частотный корректор поступает на универсальную магнитную головку *ГУ*. При воспроизведении эта же головка подключается к усилителю воспроизведения, который содержит один-два каскада и развивает на выходе напряжение, достаточное лишь для телефонных трубок. Для громкоговорящего прослушивания выход магнитофона надо соединить с внешним усилителем или с гнездами для

звукоснимателя в радиоприемнике. Несложные функции, которые выполняет в данной схеме усилитель воспроизведения, позволяют обойтись в нем без регуляторов громкости и тембра, так как все это осуществляется соответствующими регуляторами радиоприемника или внешнего усилителя.

Вариантом схемы рис. 9 может быть схема с использованием электронной лампы генератора высокой частоты во время воспроизведения в качестве оконечного усилителя, работающего на громкоговоритель. Это позволяет при том же количестве ламп и электропитании благодаря незначительному усложнению схемы получить в магнитофоне громкоговорящее прослушивание записи без подсоединения каких-либо внешних устройств.

Скелетная схема рис. 9 может быть упрощена, если ленту, предназначенную для записи, размагничивать предварительно на другом магнитофоне[1] или с помощью специального электромагнита, питаемого от сети переменного тока. В этом случае из скелетной схемы можно исключить головку стирания, а генератор высокой частоты сделать маломощным. Это позволит сократить габариты и вес магнитофона, особенно если построить генератор высокой частоты и усилитель воспроизведения на транзисторах.

В ряде случаев магнитофоны предназначаются исключительно для речевых записей, причем к ним не предъявляется требование высокого качества звучания. К числу таких магнитофонов относятся, например, те, которые используются для записи диспетчерских распоряжений и служебных телефонных переговоров.

Для таких магнитофонов скелетная схема рис. 9 может быть упрощена, если исключить из нее генератор высокой частоты и перейти на так называемый постоянно-точный режим записи и стирания. Кроме того, контроль уровня записи по индикатору можно заменить в них контролем на телефонные трубки, подключаемые вместо индикатора.

К числу простых относится также скелетная схема магнитофона, рассчитанного только на воспроизведение (рис. 10). Таким магнитофоном является, например, звуковос-

---

[1] Если этот магнитофон имеет бóльшую скорость ленты, то необходимо предварительно убедиться, что записываемые на ленте при ее размагничивании высокочастотные колебания тока подмагничивания на более медленной скорости не будут прослушиваться как сопровождающий запись высокий звук.

производящая часть кинопроектора, аппарата для передачи радиопозывных, аппарата для передачи реклам и различных справок, автоответчика, сообщающего сведения о режиме работы какого-либо механизма или о протекании какого-либо процесса, а также магнитофон для радиотрансляционных узлов в поездах и на самолетах, где самостоятельная запись не производится и нужно только воспроизведение.

Схема рис. 10 очень проста и не требует подробных пояснений. Усилитель воспроизведения снабжен установочным регулятором усиления для уравнивания выходных напряжений, даваемых несколькими магнитофонами при их поочередной работе. Так как такие магнитофоны используются в сочетании с усилительной аппаратурой (трансляционный узел, линейные усилители и др.), они не должны иметь в своем составе оконечного усилителя. Усилитель воспроизведения целесообразно строить на транзисторах для сокращения его габаритов и веса.

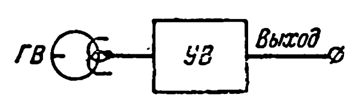


Рис. 10. Скелетная схема воспроизводящего магнитофона.

Если в магнитофоне воспроизводится двухдорожечная фонограмма и переход с одной дорожки на другую осуществляется изменением направления движения ленты, то на входе усилителя воспроизведения в схему включают реле, подключающее соответственно то верхнюю, то нижнюю магнитные головки.

Подводя итоги разбору скелетных схем магнитофонов, мы приходим к заключению, что все они строятся из небольшого числа типовых элементов: усилителей воспроизведения, записи, универсальных, микрофонных, оконечных, из корректоров частотной характеристики, делителей напряжения, генераторов высокой частоты, индикаторов уровня и элементов коммутации. Если до сих пор разбирались главным образом вопросы сочетания этих типовых элементов в ту или иную скелетную схему и рассматривались эксплуатационные свойства, присущие каждой из схем, то далее будет говориться об устройстве перечисленных типовых элементов и их расчете. При этом такие элементы, как микрофонные и оконечные усилители, не будут затронуты, так как они достаточно хорошо известны и не имеют каких-либо специфических особенностей, связанных с их использованием в магнитофонах.

ГЛАВА ВТОРАЯ

УСИЛИТЕЛИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

3. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В соответствии с тем, какое место занимают в скелетных схемах магнитофонов усилители воспроизведения, на них возлагаются две задачи: 1) предварительное усиление сигналов, получаемых от воспроизводящей головки, доведение их уровня до величины, практически удобной для измерений и прослушивания, а также для дальнейшей передачи по соединительным цепям к более мощному усилителю и получение уровня сигнала, достаточного для нормальной работы оконечного усилителя; 2) частотная коррекция воспроизводимого головкой сигнала.

Выполнение этих задач связано с определенными трудностями, преодоление которых и является специфической особенностью схем усилителей воспроизведения. Электродвижущая сила, развиваемая воспроизводящей головкой, особенно на низких частотах рабочего диапазона, весьма мала и обычно даже у высокоомных головок не превышает 100—150 *мкв*. Поэтому серьезной трудностью является получение хорошего перекрытия собственных шумов усилителя. Частотная коррекция в усилителе воспроизведения обычно достигает 20—25 *дб* и имеет своеобразную характеристику, не встречающуюся в других усилителях низкой частоты. Это — вторая особенность усилителя воспроизведения. Наконец, в высококачественном усилителе воспроизведения величина нелинейных искажений должна не превышать 0,5% на средних и высоких и 1% на низких частотах, с тем чтобы общие нелинейные искажения магнитофона определялись только лентой и частично оконечным усилителем. Таким образом, и в части нелинейных искажений мы встречаемся с требованиями, необычно жесткими для усилителя низкой частоты. Специфичным для усилителя воспроизведения является и то, что источник входного сигнала (магнитная головка) имеет сопротивление, резко изменяющееся с частотой, так как представляет собой катушку, индуктивность которой доходит иногда до 3—4 *гн*.

Ниже мы рассмотрим каждую из перечисленных особенностей усилителей воспроизведения и соответствующие этим особенностям схемные решения.

4. СОБСТВЕННЫЕ ШУМЫ УСИЛИТЕЛЯ

Если исключить из рассмотрения как принципиально не относящиеся к усилителю шумы, обусловленные магнитными, электростатическими и механическими воздействиями на воспроизводящую головку и соединительный провод, идущий от нее к входу усилителя, то в усилителе воспроизведения мы встречаемся со следующими источниками шумов.

1. *Собственный шум обмотки воспроизводящей головки,* обусловленный тепловым движением свободных электронов в проводе обмотки. Величина его определяется формулой

$$E_{ш.г} = 0{,}13\sqrt{R_г \Delta F}, \qquad (1)$$

где $E_{ш.г}$ — эффективное значение шумовой э. д. с., *мкв*;

$R_г$ — сопротивление головки, *ком*;

ΔF — рабочая полоса частот; *кгц*.

2. *Шум, обусловленный дробовым эффектом анодного тока лампы.* Действие этого источника шума принято учитывать включением в цепь сетки так называемого шумового сопротивления лампы $R_ш$, после чего саму лампу можно рассматривать как идеальную, не имеющую дробового шума в анодной цепи.

Величина шумового сопротивления приводится обычно в справочниках или может быть подсчитана для триодов по формуле

$$R_ш = \frac{2 - 2{,}5}{S}, \qquad (2)$$

где S — динамическая крутизна лампы, *а/в*.

Величина шумового сопротивления колеблется у разных типов ламп от 150—200 *ом* у триодов до 25—40 *ком* у пентодов. Возрастание шумов у последних объясняется тем, что к флуктуациям из-за нерегулярности работы катода добавляются флуктуации, обусловленные постоянными перераспределениями общего электронного потока, излучаемого катодом между несколькими положительно заряженными электродами (анод, экранирующая сетка). Зная шумовое сопротивление лампы, нетрудно вычислить соответствующее ему значение э. д. с. шума, действующей в ее сеточной цепи, для чего в формулу (1) вместо $R_г$ надо подставить $R_ш$.

3. *Шум, обусловленный так называемым фликкер-эффектом или «эффектом мерцания».* Этот дополнительный шум в анодной цепи лампы проявляется на частотах ниже примерно 100 *гц*. Причиной его тоже является нерегулярность работы катода, но в отличие от дробового эффекта она связана с более крупными изменениями в его эмиссионной способности. Действие этого шума может быть также учтено в виде некоторой шумовой э. д. с. в цепи сетки лампы.

4. *Шум, обусловленный дробовым эффектом сеточного тока.* Несмотря на то, что работа лампы усилителя происходит при отрицательном потенциале сетки, некоторый сеточный ток все же имеет место. Он так же подвержен действию дробового эффекта, как и анодный ток. В результате возникает некоторая шумовая составляющая сеточного тока $i_{ш.с}$, вызывающая изменение потенциала сетки на величину $i_{ш.с}Z_с$, где $Z_с$ — сопротивление, существующее в схеме между сеткой и катодом. Колебания потенциала сетки лампы порождают шум в ее анодной цепи. Действие данного шума может быть учтено посредством генератора шумового тока, подсоединенного к сетке лампы.

5. *Шум, обусловленный микрофонным эффектом лампы и проводов сеточной цепи.*

6. *Шум, обусловленный пульсацией напряжений, питающих накал и анод лампы.*

7. *Шум, обусловленный магнитными и электрическими наводками* от внешних источников помех, как на саму усилительную лампу, так и на детали монтажа (особенно находящихся в сеточной цепи).

Во всех перечисленных случаях шумов усилителя воспроизведения имеется в виду первая его лампа, так как полезный сигнал на ее сетке обычно меньше, чем в других каскадах, и поэтому шумы сказываются относительно сильнее.

Рассмотрим действие шумов, перечисленных в пп. 1, 2, 3 и 4.

На рис. 11 приведена эквивалентная схема входа усилителя воспроизведения[1], в которой действие шумов учтено включением соответствующих шумовых генераторов, а входная лампа считается идеально нешумящей. В этой схеме:

---

[1] Рассматривается случай с непосредственным подключением воспроизводящей головки к сетке первой лампы; однако к такой же эквивалентной схеме может быть приведена и схема с включением головки через трансформатор.

$L_г$ — индуктивность воспроизводящей головки; C — собственная емкость обмотки головки, емкость монтажа и входная емкость лампы, $E_{ш.г}$ — э. д. с. шума обмотки; $E_{ш.а}$ — э. д. с. шума, обусловленного дробовым эффектом анодного тока; $E_м$ — э. д. с. шума из-за эффекта мерцания; $i_{ш.с}$ — шумовой ток, эквивалентный дробовому эффекту сеточного тока.

Если замкнуть сетку лампы (точка *1*) с катодом (точка *2*), то останутся два источника шума: $E_{ш.а}$ и $E_м$. Уменьшение этих шумов может вестись следующими путями.

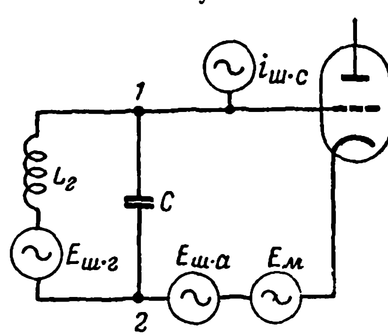


Рис. 11. Эквивалентная схема входа усилителя воспроизведения с источниками шумов.

Дробовой эффект анодного тока ($E_{ш.а}$) значительно меньше у триодов, чем у пентодов, поэтому первым следует отдавать предпочтение во входном каскаде. Кроме того, как это следует из формулы (2), надо выбирать триоды с большой крутизной. Эффект мерцания ($E_м$) так же, как и дробовой эффект ($E_{ш.а}$) уменьшается при уменьшении анодного тока и при увеличении накального напряжения, так как в обоих случаях возрастает пространственный заряд лампы. Поэтому в допустимых пределах следует выбирать режим входной лампы с учетом сказанного. Из общеупотребительных ламп отечественного производства лучшие результаты дает пальчиковая лампа 6Н3П при напряжении накала 6,8 — 7 *в* и анодном напряжении 40—60 *в*.

Если разомкнуть контакты *1* и *2* схемы рис. 11, то начнут действовать еще два источника шумов: $E_{ш г}$ и $i_{ш.с}$. Так как даже у высокоомных воспроизводящих головок $R_г$ не превосходит 500 *ом*, то $E_{ш г}$, рассчитанная по формуле (1) для самой широкой полосы (15 000 *гц*), получается незначительной (порядка 0,5 *мкв*).

Действие дробного эффекта тока сетки ($i_{ш с}$) проявляется тем сильнее, чем больше сопротивление между точками *1* и *2*, т. е. полное сопротивление головки, которое опреде-

ляется ее индуктивностью. Для ослабления действия $i_{ш.с}$ надо стремиться к получению (при сохранении полезной отдачи) меньшей индуктивности у воспроизводящей головки.

Рассмотрим теперь действие шумов, перечисленных в пп. 5, 6 и 7.

Первый из них — шум из-за микрофонного эффекта лампы и проводов в цепи сетки. Причина этого шума такова: входная лампа и ее сеточные провода находятся в магнитофоне под действием механических вибраций, возникающих от лентопротяжного механизма, громкоговорителя и отдельных толчков от источника, находящегося вне аппарата. Под действием вибраций расстояния между электродами ламп и между сеточным проводом и проводами или поверхностями, имеющими нулевой потенциал, изменяются. Первое непосредственно вызывает изменение величины анодного тока, а второе изменяет емкость между сеткой и катодом и благодаря наличию некоторого постоянного заряда на сетке приводит к изменению ее потенциала, что, в свою очередь, изменяет анодный ток. На выходе усилителя из-за микрофонного эффекта можно ясно услышать те вибрации, которые явились источником этого дополнительного шума.

Борьба с микрофонным эффектом ведется различными способами. Во-первых, разные типы электронных ламп в различной степени подвержены действию микрофонного эффекта. Чем жестче конструкция лампы, тем он меньше. Наиболее хороши в этом отношении так называемые сверхминиатюрные лампы (например, триод 6С6Б), за ними следуют триоды пальчиковой серии (6Н1П, 6Н3П). Эти лампы наиболее предпочтительны для входного каскада. Выбирая по каким-либо соображениям лампу другого типа, нужно экспериментально убедиться в том, что она не сильно подвержена действию микрофонного эффекта.

Микрофонный эффект входной лампы может быть значительно снижен путем амортизации ее панельки при помощи цилиндрических пружин, резины или пружинной шайбы. При этом необходимо, чтобы все подсоединения к лепесткам ламповой панельки были сделаны мягким проводом достаточной длины, иначе передача вибраций по проводам может свести на нет действие амортизации. Для ламп пальчиковой серии желательно применять панельки с экранами, у которых благодаря внутренней пружине лам-

па хорошо защищена от вибраций. В наиболее трудных случаях, например, когда входная лампа расположена вблизи от громкоговорителя, для ослабления микрофонного эффекта рекомендуется надевать вплотную на баллон лампы войлочный или свинцовый колпак; первый помогает, поглощая звуковую энергию, а второй — увеличивает колеблющуюся массу.

Чтобы уменьшить микрофонный эффект проводов сеточной цепи, их следует брать тонкими, мягкими и многожильными, а иногда и заключать в звукопоглощающую резиновую трубку.

Разумеется, борьба с шумами из-за микрофонного эффекта должна вестись также посредством ослабления действующих на усилитель вибраций или отдалением усилителя от их источников. При этом следует помнить о двух главных источниках: электродвигателе лентопротяжного механизма и громкоговорителе.

Следующие по порядку — шумы из-за пульсаций напряжений, питающих усилитель. Естественно, что если усилитель воспроизведения питать от источников постоянного тока, то данный вид шумов полностью отсутствует. Однако в подавляющем большинстве магнитофонов аноды ламп питаются выпрямленным напряжением, а нити накалов — переменным или также выпрямленным напряжением. Из-за неизбежных пульсаций выпрямленных напряжений на выходе усилителя имеются составляющие шума с частотами пульсации 50, 100, 150 *гц* и т. д., прослушиваемые на слух как фон переменного тока. Для ослабления действия пульсаций анодного напряжения применяют обычные для усилителя низкой частоты анодные фильтры и стараются хорошо сгладить напряжение на выходе выпрямителя. Лучше всего следует фильтровать анодное питание входного каскада, где полезный сигнал наименьший.

Пусть амплитуда напряжения на сетке лампы входного каскада на самой низкой рабочей частоте равна $U_{с.мин}$, а коэффициент усиления каскада для этой же частоты равен $K_{макс}$. Напряжение полезного сигнала на аноде будет тогда равно $U_{с.мин} \times K_{макс}$. Задаваясь отношением сигнал/фон, равным D, получим допустимую амплитуду пульсаций на аноде входной лампы:

$$U_{фон} = \frac{U_{с.мин} K_{макс}}{D}.$$

Для расчета выпрямителя важно знать коэффициент пульсации питающего напряжения, т. е. напряжения в точках *а* и *б* каскада (рис. 12):

$$p = \frac{U_{фон.а\text{-}б}}{U_{а\text{-}б}},$$

где $U_{фон\ а.\text{-}б}$ — амплитуда пульсаций между точками *а* и *б*, *в*;
$U_{а\text{-}б}$ — величина постоянного напряжения между теми же точками, *в*.

Так как

$$U_{фон.а\text{-}б} = U_{фон}\frac{R_а + R_i}{R_а} = \frac{U_{с.мин}K_{макс}}{D}\cdot\frac{R_а + R_i}{R_а},$$

то коэффициент пульсации

$$p = \frac{U_{с.мин}K_{макс}}{DU_{а\text{-}б}}\cdot\frac{R_а + R_i}{R_а}, \qquad (3)$$

где

$U_{с.мин}$ и $U_{а\text{-}б}$ — в вольтах, а $R_а$ и R_i — в омах.

В хорошем усилителе воспроизведения *p* должно быть порядка 10^{-7}. Для получения столь малых пульсаций необходимы большая емкость конденсаторов фильтра выпрямителя и многозвенная фильтрация.

Питание нитей накала подогревных ламп не переменным, а выпрямленным напряжением на первый взгляд кажется необязательным и даже излишним. На практике, однако, выяснено, что даже при питании накала первой лампы выпрямленным, но плохо сглаженным напряжением все же создается довольно заметный уровень шума (фона).

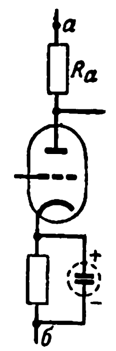


Рис. 12. К расчету допустимых пульсаций анодного напряжения.

Одной из основных причин этого можно считать воздействие пульсаций тока, протекающего через нить накала лампы, на управляющую сетку этой же лампы, через сопротивление смещения в ее катоде. При автоматическом сеточном смещении за счет прохождения анодного тока через сопротивление $R_к$ в цепи катода (рис. 13) последний приобретает положительный потенциал по отношению к заземленной нити. Поэтому электронный поток, эмиттированный нитью накала, через

поры в керамике подогревателя устремляется к положительно заряженному катоду. По той же цепи проходят и ток утечки с нити на катод, и ток через внутреннюю емкость между ними. В результате через сопротивление $R_к$ протекает пульсирующий ток, напряжение смещения также пульсирует, что и является причиной появления шума (фона) в анодной цепи.

Наилучшим способом устранения этой причины является питание накала первого (а иногда и второго) каскада хорошо сглаженным выпрямленным напряжением.

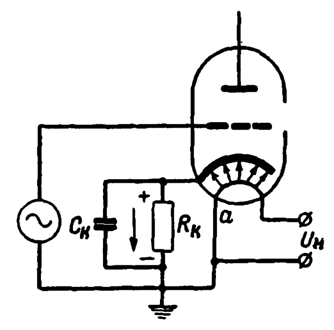


Рис. 13. Прохождение электронов с подогревателя на катод — одна из причин шумов усилителя.

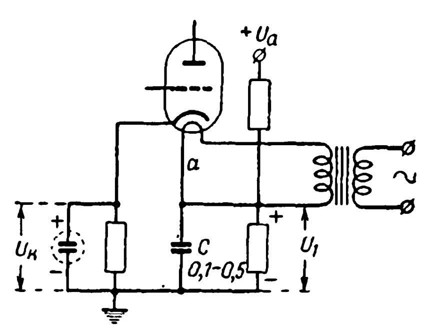


Рис. 14. Схема подачи отрицательного напряжения на катод с целью ослабления шума усилителя.

Дополнительными мерами снижения фона служат шунтирование сопротивления смещения $R_к$ большой емкостью $C_к$ (порядка 200—500 *мкф*), а также подача на катод отрицательного напряжения порядка 15—20 *в* относительно нити накала. В последнем случае применяют схему, показанную на рис. 14, в которой потенциал катода относительно нити отрицателен, так как U_1 выбирается больше $U_к$. В этом случае устраняется поток эмиттированных нитью электронов к катоду, и шумы значительно ослабевают. Конденсатор C в этой схеме делает потенциал нити накала по переменному току нулевым. При его отсутствии всевозможные помехи, проникающие из осветительной сети в накальную обмотку силового трансформатора через внутриэлектродную емкость нить накала — катод, попадают в цепь катод — сетка лампы усилительного каскада и прослушиваются на выходе усилителя как громкие щелчки и трески.

Дополнительной мерой является также отказ от автоматического сеточного смещения за счет анодного тока. Из предыдущих двух случаев ясно, что сопротивление смещения в цепи катода служит путем для проникновения шумов и помех из накальной цепи в сеточную цепь лампы, и с этой точки зрения оно нежелательно. Во входном каскаде, где амплитуда сигнала мала и требуемое смещение на сетке не превышает 1,5—2 *в*, его можно получить за счет сеточного тока (рис. 15). Относительно большая емкость (0,1 *мкф*) конденсатора C_c объясняется тем, что при малой емкости разделительного конденсатора возрастает сопротивление между сеткой и катодом для низких частот, таких, например, как 50, 100 и 150 *гц*. Вследствие этого становится более сильным действие электрических наводок на сетку лампы с тех элементов или точек схемы, которые имеют потенциал, пульсирующий с указанными частотами. Чтобы уменьшить действие помехи на разделительный конденсатор, его желательно поместить в металлический экран.

Рис. 15. Схема подачи сеточного смещения за счет сеточного тока.

В итоге обсуждения вопроса о питании накала ламп усилителя воспроизведения необходимо сказать, что не только в магнитофонах профессионального назначения, но и в более дорогих моделях магнитофонов для домашнего пользования питание следует производить хорошо сглаженным, выпрямленным напряжением. Во всяком случае это обязательно для первого каскада. Для простых магнитофонов, рассчитанных на речевые записи, и диктофонов допустимо питание накала переменным напряжением с использованием тех мер уменьшения шумов, которые были изложены выше.

Переходим к шумам, обусловленным магнитными и электрическими наводками. Эти наводки, конечно, сильнее всего сказываются в первом каскаде и во входной цепи. Источниками магнитных наводок в магнитофоне служат электродвигатели, электромагниты, остеклованные проволочные сопротивления и реле в лентопротяжном механизме, а также силовой трансформатор и дроссель фильтра в выпрямителе. При конструировании магнитофона нужно мысленно проследить направления магнитных полей этих источников и постараться так расположить их относительно наиболее чувствительных частей схемы (в частности, относительно входных цепей и первого кас-

кады усилителя воспроизведения), чтобы они оказывали на них возможно меньшее влияние.

Часто применяемые стальные шасси для усилителя воспроизведения нежелательны. Такие шасси концентрируют в себе магнитные потоки рассеяния от источников фона. Сеточный вывод лампы и входной провод, проходящие через отверстия в таком шасси, оказываются в результате под действием более сильного поля наводок, чем при шасси из немагнитного материала (например, дюралюминия). Чтобы ослабить воздействие помех на сеточный провод, его нельзя делать одиночным, а надо как можно чаще свить с проводом нулевого потенциала и в таком виде вывести к входному разъему или входному трансформатору. В этом случае поле помехи будет индуктировать в каждом из свитых проводов примерно одинаковые э. д. с., которые в результате компенсируют друг друга. Тщательное свивание входных проводов является лучшей защитой их от магнитных наводок. Чтобы шаг свивания получался мельче, входные провода должны быть тонкими (например, провод МГЩД7×0,1).

Если усилитель воспроизведения содержит входной трансформатор, то последний следует помещать в двойной или даже тройной экран из пермаллоя с возможно бо́льшими зазорами между пластинами экрана, а выводы от первичной обмотки перевивать так же тщательно, как и идущие от вторичной к сетке и точке нулевого потенциала.

Не следует, наконец, забывать, что внешние магнитные поля могут воздействовать и непосредственно на электронный поток входной лампы, вызывая его пульсацию. Если не удается расположить лампу так, чтобы силовые линии внешних полей не пересекали пучок электронов, летящих к аноду, ее надо закрыть пермаллоевым экраном.

Электрические наводки происходят через паразитные емкости монтажа. В схеме имеется много проводов, имеющих высокий потенциал, пульсирующий с частотой 50, 100 и 150 *гц*. К ним относятся все выводы от силового трансформатора (особенно от повышающей обмотки), сетевой шнур или разъем и другие провода. Достаточно небольшой емкости между этими проводами и проводами и деталями первого каскада, чтобы возникло заметное увеличение шумов усилителя. Поэтому прибегают к электрическому экранированию наиболее чувствительных мест схемы. Оно значительно проще, чем магнитное экранирование, и состоит в том, что экранируемый объект заключают

в металлический кожух, соединенный с шасси усилителя. Наилучшим для экрана является металл с большой проводимостью (например, медь).

Практически электрическое экранирование выполняют следующим образом. На витые входные провода надевают медную (луженую) броню. Чтобы уменьшить емкость проводов на землю и защитить их изоляцию от повреждения, на провода предварительно надевают хлорвиниловую или линоксиновую трубку и уже поверх нее броню. Одиночные сеточные провода второго, а иногда и третьего каскада также помещают в броню. Наружный экран входного трансформатора соединяют с шасси. Ламповую панельку первого каскада с относящимися к ней деталями закрывают снизу небольшим изогнутым металлическим листом, а на лампу надевают металлический колпак. Металлические корпусы потенциометров и конденсаторов соединяют с шасси.

При питании накала плохо сглаженным напряжением наблюдаются электростатические наводки от накальных проводов, подходящих к ламповой панельке первого каскада, на сеточный вывод. Эти наводки могут быть значительно ослаблены, если при монтаже подпаять к ближайшему от сеточного вывода накальному выводу тот провод, который соединен по схеме с точкой нулевого потенциала (на рис. 13 и 14 он обозначен буквой *а*).

5. ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ В УСИЛИТЕЛЕ

Выше рассматривались различные причины собственных шумов усилителя воспроизведения и способы их уменьшения. Однако практическое значение имеет не абсолютная их величина, а относительная по сравнению с полезным сигналом, т. е. величина отношения сигнал/шум. Это отношение определяет собой максимальный динамический диапазон записи, которая может быть нормально воспроизведена через данный усилитель и является его важным качественным показателем.

Как уже говорилось, шумы усилителя создаются главным образом первым каскадом и его входными цепями. На рис. 11 было показано, что действие различных источников шума может быть представлено рядом генераторов тока и напряжения в цепи сетки лампы первого каскада. На основании этого можно заключить, что отношение сигнал/шума усилителя в целом определяется отноше-

нием полезного сигнала на сетке лампы первого каскада к общему эффективному значению шумов, приложенных к этой же сетке. Поэтому борьба за достаточно большое отношение сигнал/шума в усилителе может вестись или путем увеличения полезного сигнала на сетке лампы первого каскада, или путем уменьшения собственных шумов лампы этого каскада и входных цепей. В ряде случаев изменение полезного сигнала за счет того или иного изменения в схеме вызывает одновременно и изменение шумов. Однако отношение сигнал/шум может при этом не оставаться постоянным и иметь при определенных данных желательный максимум. В данном параграфе различные схемы первого каскада усилителя и его входные цепи будут рассматриваться нами именно с этой точки зрения.

Вначале уточним, какие значения сигнал/шум необходимо иметь в усилителе воспроизведения. Известно, что все качественные показатели магнитофонов нормируются ГОСТ 08088-56 в зависимости от рабочей скорости движения ленты. Величина шума в канале «запись — воспроизведение» по отношению к максимальному полезному сигналу не должна превосходить —60 *дб* для скоростей 762 и 381 *мм/сек* и —35 *дб* для скоростей 190 и 95 *мм/сек* (в профессиональных магнитофонах на скоростях 190 и 95 *мм/сек* относительный уровень шума обычно ниже, чем нормируемый ГОСТ, и составляет примерно —50 *дб*). Так как шум усилителя воспроизведения является лишь составной частью этих общих шумов, он должен быть по крайней мере в 2 раза меньше, т. е. не более соответственно —66 и —41 *дб*. Эти величины и могут служить заданием по шумам при разработке усилителей воспроизведения.

Далее следует уточнить, что приведенные цифры характеризуют допустимую интенсивность всех шумов усилителя воспроизведения, т. е. соответствуют показаниям вольтметра, измеряющего на выходе эффективное напряжение шумов, безотносительно того, каковы их источники и каков характер этих шумов. Такая «объективность» не свойственна человеческому слуху, различно реагирующему на шумы, одинаковые по силе, но разные по своему частотному спектру. Так как в конечном итоге полезным результатом работы магнитофона следует считать создание у слушателя при воспроизведении определенного слухового впечатления, целесообразно рассмотреть с этой точки зрения и различные источники шумов усили-

теля воспроизведения и постараться дифференцировать приведенные выше нормы на суммарные шумы между их отдельными составляющими.

В первом приближении все шумы по их спектру можно разделить на две группы: низкочастотные (примерно до 400 *гц*) и высокочастотные (свыше 400 *гц*). К низкочастотным относятся фон переменного тока и шум за счет эффекта мерцания катода, а к высокочастотным — термические шумы сопротивления входной цепи и шумы за счет дробового эффекта в анодном и сеточном токах.

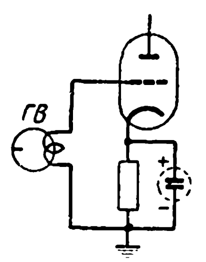


Рис. 16. Схема непосредственного подключения воспроизводящей головки к лампе.

Низкочастотные шумы слышны как гудение, сопровождаемое при наличии высших гармоник сетевого напряжения характерным звуком, напоминающим звучание буквы «з», и как отдельные шорохи и хлопки, обусловленные действием эффекта мерцания. Ухо сравнительно слабо реагирует на эти шумы, к тому же многие громкоговорители плохо их воспроизводят из-за завала частотной характеристики на низких частотах.

Высокочастотные шумы, которые называют также «белыми шумами», ощущаются на слух как шипение. В отличие от низкочастотных они хорошо воспроизводятся громкоговорителем, хорошо слышны и оказывают весьма неприятное, раздражающее впечатление на слушателей. Поэтому, если для скоростей 762 и 381 *мм/сек* относительная величина суммарных шумов усилителя воспроизведения должна составлять не более —66 *дб*, то из них на долю высокочастотных шумов можно допустить —80 *дб*. Соответственно при скоростях 190 и 95 *мм/сек* высокочастотные шумы не должны превосходить — 60 *дб*.

Возвращаемся к основному вопросу об отношении сигнал/шум в усилителе воспроизведения. Выше указывалось, что одним из способов повышения этого отношения является увеличение полезного сигнала на сетке лампы первого каскада. Постараемся выяснить, от каких причин зависит этот сигнал и какие способы его увеличения имеются в распоряжении конструктора. При этом будем иметь в виду, что воспроизводящая магнитная головка включена непосредственно в сеточную цепь лампы первого каскада (рис. 16). В этой схеме полезный сигнал определяется

величиной э. д. с., развиваемой воспроизводящей головкой и приблизительно равной:

$$E = \omega w \Phi \frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\frac{\pi l}{\lambda}}, \qquad (4)$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота воспроизводимого сигнала;
Φ — магнитный поток, исходящий из фонограммы и пронизывающий обмотку головки;
w — число витков обмотки;
$\frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\frac{\pi l}{\lambda}}$ — множитель, характеризующий так называемый „щелевой эффект", т. е. уменьшение э. д. с. головки по мере приближения длины волны записи $\lambda = \frac{v}{f}$ к эффективной ширине рабочего зазора головки l.

Рассмотрим первоначально величину э. д. с. E_f на какой-либо фиксированной частоте, т. е. при условии $\omega \frac{\sin \pi l/\lambda}{\pi l/\lambda} = \mathrm{const}$. Тогда э. д. с. пропорциональна сомножителям Φ и w, и увеличения ее можно достичь, увеличивая тот или другой сомножитель. Обозначим через E_1 и L_1 э. д. с. и индуктивность головки определенной конструкции, имеющей обмотку из одного витка и ширину сердечника 1 *мм*, и назовем их единичными параметрами конструкции. Отметим, что под определенной конструкцией мы будем понимать форму, размеры и материал магнитопровода, размеры и материал рабочего зазора, а также способ крепления магнитопровода и нанесения обмотки. Все эти факторы, влияющие на работу головки, и определяют величину единичных параметров E_1 и L_1 и могут ими характеризоваться.

Поток, переходящий из ленты в сердечник головки в первом приближении пропорционален ширине сердечника b и равен $\Phi = \Phi' b$, где Φ' — поток, исходящий из фонограммы шириной 1 *мм*. Тогда мы можем записать пропорциональность: $E_f \approx b w \Phi_1$. Максимально возможная величина Φ_1 определяется качеством звуконосителя и составляет для ленты типа 1 примерно 16 и для ленты типа 2 примерно 25 *ммкс/мм*. При $b = 1$ и $w = 1$ $E_f = E_1$. Как нетрудно

видеть, E_1 численно равно Φ', и последнюю пропорциональность можно записать в виде:

$$E_f \approx bE_1 w. \qquad (5)$$

Увеличение э. д. с. путем увеличения w ограничивается тем, что одновременно возрастает и индуктивность головки, что влечет за собой:

1) возрастание шума лампы из-за дробового эффекта тока сетки (см. § 4), так как $e_{ш.с} = i_{ш.с} Z_с = i_{ш.с} \omega L_г$;

2) возможность возникновения в пределах рабочего диапазона частот резонанса напряжений между индуктивностью головки и ее собственной емкостью, а также емкостью соединительного кабеля и входной емкостью первого каскада.

Второе обстоятельство обычно при выборе является главным. Резонанс во входной цепи стараются расположить за пределами рабочего диапазона или в крайнем случае на верхней его частоте $f_в$, так как на частотах более высоких, чем резонансная, отдача головки очень резко падает. Поскольку суммарная емкость не может быть практически получена меньше $C_г = 50$ *пф*, приходится ограничивать индуктивность воспроизводящей головки некоторой максимально допустимой величиной $L_{г.макс}$, выбранной так, что $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{г.макс} C_г}} \geqslant f_в$. Например, при $f_в \approx 15\,000$ *гц* необходимо иметь $L_г$ не более 1,6 — 1,8 *гн*.

Индуктивность головки можно выразить через единичный параметр L_1, число витков w и ширину сердечника b, т. е. $L_г = L_1 b w^2$, и так как $L_г$ ограничено вышеприведенными соображениями, то максимально допустимое число витков $w = \sqrt{\frac{L_г}{L_1 b}}$.

Подставляя значение w в формулу (5), получим:

$$E_f \approx bE_1 w = bE_1 \sqrt{\frac{L_г}{L_1 b}} = \frac{E_1}{\sqrt{L_1}} \sqrt{L_г b}. \qquad (6)$$

Отношение $\frac{E_1}{\sqrt{L_1}}$, зависящее исключительно от конструкции головки, часто называют добротностью головки.

Из формулы (6) видно, что в пределах данной конструкции головки и максимально допустимой ее индуктивно-

сти э. д. с. пропорциональна ширине сердечника и ее целесообразно увеличивать. Разумеется, это справедливо до тех пор, пока расширение сердечника производится в пределах ширины фонограммы. Дальнейшее расширение не увеличивает э. д. с., приводит к нежелательному возрастанию $L_г$ и заставляет уменьшать число витков обмотки, что в конечном итоге приводит к уменьшению э. д. с. Но и выбирать ширину сердечника точно равной ширине фонограммы по ряду причин тоже нельзя. Главной из этих причин является та, что из-за неизбежных колебаний ленты в направлении, перпендикулярном направлению ее движения, будет возникать паразитная амплитудная модуляция воспроизводимого сигнала. Поэтому ширину сердечника воспроизводящей головки целесообразно брать на 10—15% меньше ширины фонограммы.

Обратимся к формуле (6). Поскольку b выбирают исходя из ширины фонограммы, а $L_г$ — из частоты резонанса во входной цепи, мы приходим к важному выводу, что увеличение э. д. с. на какой-либо фиксированной частоте может достигаться только за счет повышения добротности головки $Q = \frac{E_1}{\sqrt{L_1}}$. Однако это справедливо лишь для низких и отчасти средних звуковых частот, при которых множитель $\frac{\sin\frac{\pi l}{\lambda}}{\frac{\pi l}{\lambda}}$ в уравнении (4) был близок к единице и нами не учитывался.

Рассматривая вопрос о величине полезного сигнала во всем диапазоне частот, мы должны принять во внимание этот множитель, и тогда выражение для э. д. с. головки запишется в виде:

$$E = \omega Q \sqrt{L_г b}\,\frac{\sin\frac{\pi l}{\lambda}}{\frac{\pi l}{\lambda}}. \qquad (7)$$

На рис. 17 изображены графики частотной зависимости э. д. с. двух головок, у которых при одинаковых $L_г$ и b различна ширина рабочего зазора l. У головки с меньшим зазором l_1 э. д. с. на низких и средних частотах меньше, так как при уменьшении зазора понижается добротность Q.

Зато на высоких частотах э. д. с. этой головки больше за счет того, что у нее больше множитель $\frac{\sin\frac{\pi l}{\lambda}}{\frac{\pi l}{\lambda}}$.

Какая из этих двух головок предпочтительнее с точки зрения отношения сигнал/шум усилителя? Поскольку как низкочастотные, так и высокочастотные шумы представляют собой помеху спектрального характера, перекрытие их нельзя оценить по величине сигнала на одной какой-либо частоте и правильнее производить по площади частотной характеристики сигнала. В случае, рассматриваемом на рис. 17, низкочастотные шумы лучше перекрываются у головки *2*, так как площадь ее частотной характеристики э. д. с. в диапазоне от $f_н$ до 400 *гц* больше, чем у головки *1*. По тем же соображениям высокочастотные шумы лучше перекрываются сигналом при головке *1*. Ей и надо отдать предпочтение, так как ранее указывалось, что ухо особенно реагирует на шумы высокочастотного характера.

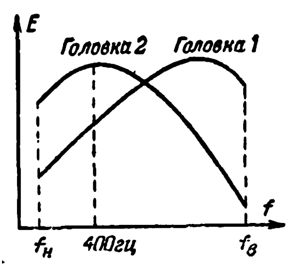


Рис. 17. Частотная характеристика э. д. с. двух воспроизводящих головок с разной шириной рабочего зазора.

Характеристики, приведенные на рис. 17, могут быть экспериментально получены для ряда головок, и по ним может быть произведен выбор наиболее подходящей головки для того или иного магнитофона. Снятие характеристик следует, конечно, производить при рабочей скорости ленты, головке и режиме записи (имеется в виду определенное значение подмагничивания и величина частотной коррекции), а также типе ленты, выбранных для данного магнитофона. Обычно оптимальные рабочие зазоры получаются равными 20 *мк* для скорости 762 *мм/сек*, 10 *мк* для скорости 381 *мм/сек*, 7 *мк* для скорости 190 *мм/сек* и 5 *мк* для скорости 95 *мм/сек*. Однако здесь могут быть найдены и другие величины, если в магнитофоне не обязательно воспроизводить полный частотный диапазон до 15 000 *гц*.

Подводим итог сказанному. Схема с непосредственным подключением головки к сетке лампы первого каскада (рис. 16) может обеспечить достаточную величину отно-

шения сигнал/шум при условии, что обмотка головки имеет значительное число витков, ограничиваемое лишь допустимой индуктивностью головки (такие головки называют высокоомными), а ширина рабочего зазора выбрана по максимальной площади частотной характеристики э. д. с. головки. При выполнении этих условий отношение сигнал/шум будет тем больше, чем выше добротность головки. Не касаясь подробно способов достижения последнего, укажем лишь, что для увеличения Q следует уменьшать магнитное сопротивление сердечника головки и ширину так называемого носика сердечника, т. е. той его части, где образуется рабочий зазор.

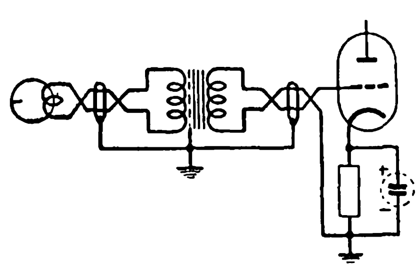

Рис. 18. Схема подключения низкоомной воспроизводящей головки к лампе.

Схема усилителя воспроизведения (вернее, схема его входной части) с непосредственным подключением высокоомной головки в настоящее время широко применяется. Большим преимуществом ее является простота. Однако она не является единственной.

На рис. 18 приведена другая схема, в которой воспроизводящая головка подключена к входу первого каскада усилителя воспроизведения через трансформатор. Разберем ее преимущества и недостатки.

При трансформаторной схеме воспроизводящая головка должна иметь сравнительно небольшое число витков (такие головки называют низкоомными), с тем чтобы ее сопротивление $Z = \omega L_г$ можно было согласовать с входным сопротивлением трансформатора. Электродвижущая сила, развиваемая такой головкой, в несколько раз меньше, чем у высокоомной, однако сигнал на сетке лампы первого каскада за счет повышающего действия входного трансформатора может быть в этой схеме даже больше, чем в схеме рис. 16 (здесь, так же как и в схеме с непосредственным подключением головки, сигнал на сетке лампы первого каскада тем больше, при прочих равных условиях, чем выше добротность головки Q). Особенно это относится к низким частотам, при которых повышение уровня полезного сигнала зависит только от коэффициента трансфор-

мации. Если выбрать последний порядка 1 : 50, можно получить столь хорошее перекрытие низкочастотных шумов первого каскада, что станет возможным ослабить некоторые меры борьбы с ними, например можно перейти на питание накала менее сглаженным напряжением. Хорошее перекрытие низкочастотных шумов — первое преимущество рассматриваемой схемы.

При непосредственном подключении головки к сетке лампы первого каскада увеличение длины входного кабеля ограничивалось тем, что происходящее при этом возрастание его собственной емкости могло переместить резонанс входной цепи в область рабочего диапазона частот. Поэтому длина кабеля могла быть не более 0,5 *м*. При трансформаторной же схеме длина кабеля может быть при необходимости взята во много раз больше. Из-за малой индуктивности низкоомной головки частота резонанса входной цепи будет в этом случае всегда далеко за пределами звуковых частот. Симметричность входа при трансформаторной схеме делает соединительный кабель менее чувствительным к электрическим наводкам, что также важно при значительной его длине. Конечно, это требует симметричной намотки входного трансформатора и наличия электростатического экрана между обмотками, но и то и другое несложно. Так как входной кабель не соединен непосредственно с сеткой лампы и не несет на себе заряд последней, он меньше склонен и к микрофонному эффекту, что облегчает прокладку его в магнитофоне. Все это вместе взятое позволяет удалять воспроизводящую головку на большое расстояние от усилителя, что является вторым преимуществом данной схемы. В некоторых случаях, например в кинопроекторе, где невозможно установить усилитель близко от головки воспроизведения, это преимущество весьма существенно.

Перейдем к разбору недостатков схемы с трансформатором. Во-первых, наличие входного трансформатора является усложнением конструкции усилителя. В производственных условиях из-за неизбежного разброса в электрических данных трансформатора усложняется и настройка усилителя. Трансформатор должен быть тщательно экранирован, а иногда и амортизирован, так как в нем может возникнуть микрофонный эффект из-за неизбежной намагниченности сердечника и неплотной обмотки.

Во-вторых, высокочастотные шумы в трансформаторной схеме, как правило, выше, чем в бестрансформаторной, по

нескольким причинам. С одной стороны, при большом коэффициенте трансформации нельзя получить хорошую частотную характеристику трансформатора на высоких частотах. Полезный сигнал на сетке лампы первого каскада на этих частотах получается даже меньше, чем в бестрансформаторной схеме. С другой стороны, и высокочастотные шумы первого каскада в трансформаторной схеме больше. К термическим шумам обмотки головки в этой схеме добавляются шумы обмоток трансформатора. Полное выходное сопротивление трансформатора значительно больше, чем сопротивление высокоомной воспроизводящей головки (особенно на средних частотах), поэтому шум первого каскада из-за дробового эффекта тока сетки лампы в этой схеме тоже больше.

Выбор трансформаторной или бестрансформаторной схемы входа усилителя воспроизведения с точки зрения отношения сигнал/шум должен производиться с учетом перечисленных свойств этих схем и требований, предъявляемых к тому или иному магнитофону.

Там, где есть возможность применять высокоомную воспроизводящую головку, предпочтение следует отдать бестрансформаторной схеме. Трансформаторную же схему целесообразно применять, во-первых, там, где нельзя по конструктивным соображениям использовать высокоомную головку, например в многоканальной записи, где из-за близости головок места для их обмоток остается очень мало. Во-вторых, эта схема рекомендуется там, где воспроизводимая фонограмма имеет очень малую ширину, а требования к перекрытию низкочастотных шумов усилителя достаточно высоки. При узкой фонограмме отдача высокоомной головки, как это следует из формулы (6), будет мала, и только низкоомная головка с повышающим входным трансформатором сможет обеспечить нужное перекрытие шумов. В-третьих, трансформаторная схема незаменима в тех случаях, когда воспроизводящая головка и кабель, соединяющий ее с усилителем, испытывают по каким-либо причинам вибрации, или когда необходимо отнести головку на расстояние 2—3 *м* от усилителя, или поочередно коммутировать на вход усилителя несколько головок.

В заключение рассмотрим специальную схему первого каскада усилителя, позволяющую получить, при прочих равных условиях, выигрыш в отношении сигнал/шум на 2 — 3 *дб*.

Эта схема представлена на рис. 19 и носит название каскодной (название составлено из начальных и конечных букв полного английского наименования этой схемы). Обычно она собирается на двойном триоде. Как видно из рис. 19, усилительные лампы $Л_1$ и $Л_2$ включены последовательно. Раскачка лампы $Л_1$ производится от внешнего источника. Усиленное напряжение с анода-катода этой лампы подводится через конденсатор C_1 на сетку-катод второй лампы $Л_2$. Суммарное напряжение, усиленное как первой, так и второй лампой, через конденсатор C_2 передается на следующий каскад.

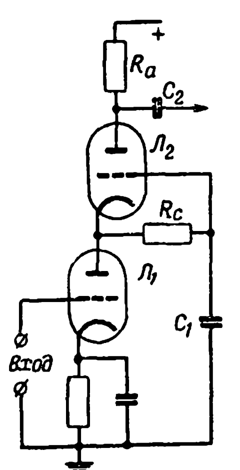


Рис. 19. Каскодная схема усиления.

Каскодную схему включения двух триодов можно рассматривать как схему усиления на пентоде, выполненном в двух баллонах. Сетка лампы $Л_2$ служит как бы антидинатронной сеткой (она заземлена

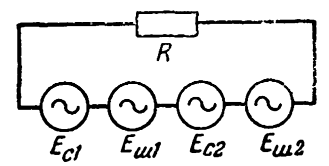


Рис. 20. К расчету шумов в каскодной схеме усиления.

через конденсатор C_1), а анод лампы $Л_1$ вместе с катодом лампы $Л_2$ эквивалентен экранирующей сетке.

Действительно, по ряду свойств каскодная схема близка к схеме на пентоде. Например, коэффициент усиления ее значительно больше μ триода, а входная емкость меньше, чем та, которая была бы при обычном включении этих же триодов. Но наиболее интересное свойство схемы заключается в том, что шумы, обусловленные дробовым эффектом анодного тока и эффектом мерцания, в ней на 2—3 *дб* меньше. Это можно объяснить, пользуясь эквивалентной схемой рис. 20, в которой каждый триод заменен генератором полезного сигнала (E_{c1} и E_{c2}) и генератором шумов ($E_{ш1}$ и $E_{ш2}$).

Генераторы включены последовательно и работают на общую нагрузку R. Примем для простоты рассуждений,

что генераторы одинаковы, т. е. эффективные значения их э. д. с. попарно равны: $E_{c1}=E_{c2}$ и $E_{ш1}=E_{ш2}$. При соответствующем выборе полярности включения генераторы полезного сигнала, как источники э. д. с. одной частоты, сложатся и создадут в цепи общую э. д. с. сигнала $E_c = 2E_{c1}$.

Генераторы шумов, представляющих собой хаотические процессы со сложными спектрами, в одни моменты времени будут давать совпадающие, а в другие противоположные э. д. с. Поэтому суммарное эффективное значение э. д. с. шумов $E_ш=\sqrt{E_{ш1}^2+E_{ш2}^2}=\sqrt{2}E_{ш1}$. Отношение сигнал/шум в нагрузке определится отношением

$$\frac{E_c}{E_ш}=\frac{2E_{c1}}{\sqrt{2}E_{ш1}}=\sqrt{2}\,\frac{E_{c1}}{E_{ш1}},$$

т. е. будет в $\sqrt{2}$ раз лучше, чем в каждой из ламп.

Следует отметить, что к такому же выводу мы бы пришли, соединяя триоды не последовательно, как в каскодной схеме, а параллельно и применяя обычную схему усилителя на сопротивлениях. Но она имела бы значительно бо́льшую входную емкость, чем каскодная схема. Это всегда нежелательно в усилителе воспроизведения, так как приводит к ослаблению полезного сигнала на высоких частотах и сдвигает резонанс во входной цепи в сторону рабочего диапазона частот.

6. ЧАСТОТНАЯ КОРРЕКЦИЯ В УСИЛИТЕЛЕ

Вся коррекция частотных искажений, возникающих в процессе магнитной записи и воспроизведения, распределяется в современных магнитофонах определенным путем между каналом записи и каналом воспроизведения. При этом для обеспечения возможности обмена фонограммами, записанными при одной скорости, но на разных аппаратах, строго нормируется частотная характеристика канала воспроизведения, а характеристика канала записи подбирается практически по результатам измерений в сквозном канале.

Остановимся на способе нормирования частотной характеристики канала воспроизведения и ее форме. Канал воспроизведения состоит из воспроизводящей головки и усилителя воспроизведения. В отличие от частотной харак-

теристики усилителя характеристика головки определяется значительно труднее, поэтому для нормирования вводят первоначально понятие идеальной воспроизводящей головки. Электродвижущая сила, вырабатываемая ею при воспроизведении фонограммы с постоянным остаточным магнитным потоком, прямо пропорциональна частоте, и частотная характеристика (рис. 21) представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат с крутизной в 6 *дб* на октаву[1].

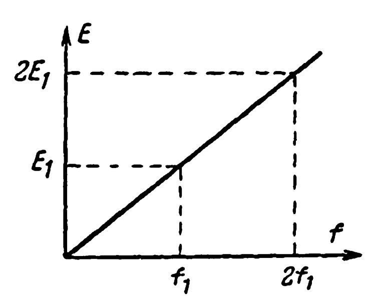


Рис. 21. Частотная характеристика идеальной воспроизводящей головки.

Далее вводится понятие стандартного канала воспроизведения, под которым понимают канал, составленный из

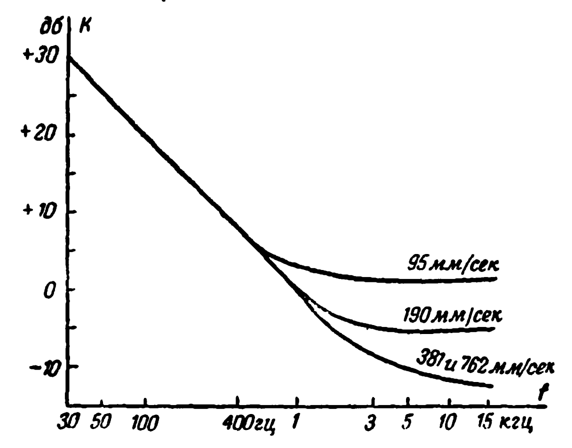


Рис. 22. Стандартизованные частотные характеристики усилителя воспроизведения для четырех значений скоростей.

идеальной воспроизводящей головки и усилителя со стандартизованной частотной характеристикой, различной для разных скоростей. На рис. 22 приведены частотные характеристики усилителя воспроизведения для скоростей

[1] Октавой называется частотный диапазон с соотношением крайних частот 2 : 1, например от 100 до 200 *гц* или от 1 200 до 2 400 *гц* и т. д.

762, 381, 190 и 95 *мм/сек*. Как видно, для скорости 762 и 381 *мм/сек* стандартизованы одинаковые частотные характеристики. Важно отметить, что под коэффициентом усиления K в этих характеристиках понимается не как обычно отношение $U_{вых}/U_{вх}$, а отношение $U_{вых}/E_{вх}$, где $E_{вх}$ — э. д. с., действующая во входной цепи, которую при снятии частотной характеристики нужно вводить в обмотку головки с помощью индуктивно связанной с ней катушки (рис. 23).

Реальный канал воспроизведения, составленный из усилителя с характеристикой согласно рис. 22 и обычной воспроизводящей головки, будет, очевидно, отличаться по

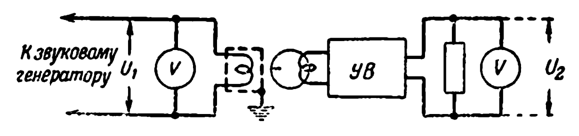


Рис. 23. Схема для снятия частотной характеристики усилителя воспроизведения. $U_1 = \text{const}$.

своей частотной характеристике от стандартного канала ровно настолько, насколько характеристика реальной головки отличается от идеальной. Если каким-либо образом узнать эту разницу, то ее можно компенсировать в усилителе, отклонившись на соответствующую величину от стандартных характеристик, приведенных на рис. 22. Такой канал воспроизведения не отличался бы по своей частотной характеристике от стандартного, и задача нормирования была бы решена.

Различие между характеристиками какой-либо реальной воспроизводящей головки и идеальной можно рассчитать. Однако этот способ затруднен для повседневного применения и недостаточно точен. Поэтому поступают иначе. Создают в лаборатории специальную воспроизводящую головку с частотной характеристикой, возможно более близкой к идеальной. Для этого она должна иметь малый рабочий зазор (в несколько раз меньше минимальной длины волны записи), а размер ее полюсов, т. е. тех участков сердечника, с которыми соприкасается лента, должен быть во много раз больше максимальной длины волны записи в пределах рассматриваемого рабочего диапазона. Такая головка имеет диаметр 50 — 80 *мм* и рабочий зазор порядка 3 *мк*. Потери энергии в сердечнике

головки должны быть сведены к минимуму выбором надлежащего материала и ламелированием. Подобную головку можно уже считать идеальной и, подключив к ней усилитель со стандартизованной характеристикой, возможно получить стандартный канал воспроизведения. С помощью этого канала производят запись серии частот с таким уровнем, чтобы выходное напряжение на всех частотах оставалось неизменным. Полученную ленту называют контрольной или тестфильмом. Очевидно, что если ее воспроизвести на другом канале воспроизведения и получить в нем то же постоянство выходного напряжения, то такой канал также будет стандартным по своей частотной характеристике.

Контрольная лента позволяет, таким образом, практически найти требуемые отклонения в характеристике усилителя от характеристик, приведенных на рис. 22, необходимость которых вызывается отличием используемой в канале головки от идеальной.

Разрабатывая усилитель, надо заранее учитывать, что характеристика его должна отличаться от тех, которые показаны на рис. 22. Отличие проявляется в двух зонах: на высоких частотах из-за необходимости компенсировать щелевые и частотные потери реальной головки она должна идти выше стандартизованной. Если размеры рабочих зазоров выбирать так, как это было рекомендовано в предыдущем параграфе, с точки зрения лучшего перекрытия высокочастотных шумов, то необходимый подъем на частоте 15 000 *гц* составляет 4—7 *дб*. К этому иногда добавляют запас коррекции 3—5 *дб* на случай ухудшения характеристики головки по мере ее износа.

На низких частотах из-за конечных размеров полюсов головки и действия окружающего ее экрана наблюдается возрастание э. д. с., и поэтому характеристика усилителя должна идти ниже стандартизованной, отклоняясь от нее на частоте 30 *гц* от —5 *дб* (на скорости 762 *мм/сек*) до —1 *дб* (на скорости 95 *мм/сек*).

С учетом этих отклонений в основу при разработке и принимаются характеристики, приведенные на рис. 22. Их нет необходимости запоминать. Предложен простой и удобный способ описания этих характеристик, основанный на том, что они графически сходны с характеристикой изменения полного сопротивления электрической цепи, составленной из последовательно включенных конденсатора и сопротивления (рис. 24).

Нетрудно показать, что

$$Z = \sqrt{\tau^2 + 25 \cdot 10^9 \frac{1}{f^2}}, \qquad (8)$$

где $\tau = RC$ — так называемая постоянная времени цепи, *мксек*;

f — частота, *гц*;

R — сопротивление, *Мом*;

C — емкость, *пф*.

Можно подобрать значение τ так, что форма характеристики, показанной на рис. 24, совпадет со стандартизованной характеристикой усилителя воспроизведения. Так, например, для скоростей 762 и 381 *мм/сек* постоянная коррекции $\tau = 35$ *мксек*, для 190 *мм/сек* $\tau = 100$ *мксек* и для 95 *мм/сек* $\tau = 200$ *мксек*.

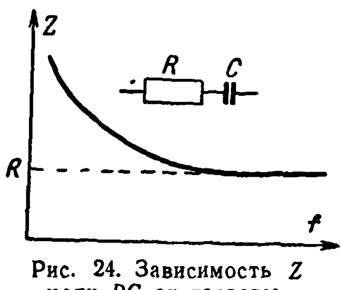


Рис. 24. Зависимость Z цепи RC от частоты.

Достаточно знать эти цифры, чтобы рассчитать ход любой из характеристик. Подставив в формулу (8) соответствующую скорости постоянную коррекции и ряд значений f (включая $f = 1\,000$ *гц*), нетрудно для каждой частоты рассчитать отношения $20 \lg \frac{Z_f}{Z_{1\,000}}$ и по найденным величинам построить характеристику. Как мы увидим далее, такой способ определения стандартной характеристики усилителя воспроизведения нельзя рассматривать как чисто формальный, так как он может быть логически связан с некоторыми схемами коррекции, применяемыми в усилителях воспроизведения. Отметим кстати, что частота $f_к$ (в герцах), начиная с которой стандартная характеристика усилителя приобретает вид прямой, параллельной оси абсцисс, связана с τ (в микросекундах) простым соотношением $f_к = 10^6/2\tau$, которым удобно пользоваться при расчетах.

Вопрос о том, чем объясняется выбор существующих стандартных характеристик усилителя воспроизведения, не входит в содержание данной книги. Можно лишь сказать, что этот выбор сделан исходя из частотной характеристики остаточного магнитного потока фонограммы, кото-

рую можно получить при существующих лентах и разумной коррекции в усилителе записи.

Мы рассматривали частотную коррекцию применительно к обычным магнитофонам, работающим на ленте шириной 6,3 *мм.* В некоторых других видах аппаратуры магнитной звукозаписи (например, в киноаппаратуре) применяются частотные характеристики усилителя воспроизведения, несколько отличные от приведенных на рис. 22, что объясняется специфическими свойствами фонограмм, используемых в этой аппаратуре.

7. СХЕМЫ ЧАСТОТНОЙ КОРРЕКЦИИ

Рассмотрим ряд схем, позволяющих получить требуемую частотную характеристику в усилителе воспроизведения. Первая из схем (рис. 25) с делителем типа RC рассчитана на работу с высокоомной воспроизводящей головкой. Между первым и вторым каскадами включается

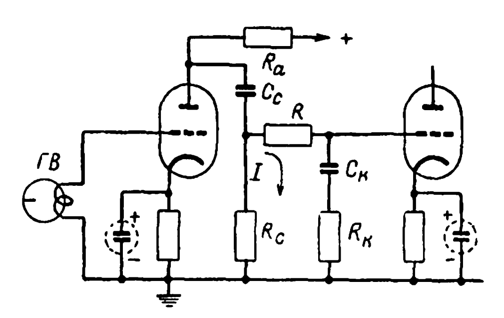


Рис. 25. Схема частотной коррекции с RC-делителем.

делитель, составленный из сопротивлений $RR_к$ и конденсатора $C_к$. Если сопротивление R во всем диапазоне частот остается намного больше, чем $R_к$ и $1/\omega C_к$, то ток I в цепи делителя не меняется с частотой. Напряжение, передаваемое на сетку лампы второго каскада, при этом условии пропорционально полному сопротивлению цепочки $R_к C_к$. Выбрав постоянную времени этой цепочки, равной постоянной времени, нормализованной для данной рабочей скорости ленты в качестве параметра частотной характеристики усилителя воспроизведения, мы автоматически получаем нужную нам характеристику.

Ориентировочный расчет схемы производится следующим образом. Сопротивление утечки сетки R_c выбирается равным $4R_a$. Далее, исходя из того, что для устойчивой работы второго каскада необходимо, чтобы сумма R_c и R не превосходила 2 *Мом*, находят величину R. Если внутреннее сопротивление лампы, стоящей по схеме перед делителем, велико (например, при пентоде), то сопротивление R можно не включать, так как его роль будет играть эквивалентное выходное сопротивление каскада $\frac{R_i R_a}{R_i + R_a}$.

Из условия $R = \frac{3 \div 5}{\omega_н C_к}$ определяют $C_к$ и, наконец, $R_к$, так как $C_к R_к = \tau$ коррекции. Емкость разделительного конденсатора C_c выбирают исходя из условия $\frac{1}{\omega_н C_c} = \frac{R_c}{3}$.

Схема отличается большой простотой и стабильностью работы. Некоторым недостатком ее является то, что полезный сигнал ослабляется делителем настолько, что величина его на сетке лампы второго каскада на средних частотах может быть даже меньше, чем на сетке лампы первого каскада. В результате происходит увеличение высокочастотных шумов усилителя за счет шумов второго каскада. Поэтому если усилитель воспроизведения содержит более двух каскадов, то делитель RC целесообразно располагать между вторым и третьим каскадами.

Как было уже установлено, частотная характеристика усилителя воспроизведения должна отличаться от стандартной наличием некоторого завала на низкой и дополнительного подъема на высокой частоте. Завал низких частот можно получить, уменьшая C_c или R. Поэтому значения их могут несколько отличаться от расчетных и уточняются во время проверки канала воспроизведения по контрольной ленте. Что касается подъема на высокой частоте, то его можно получить, видоизменив схему делителя RC так, как это показано на рис. 26. Емкость конденсатора C во всех трех вариантах (*а*, *б* и *в*) выбирается порядка 60—80 *пф*. Варианты *а* и *б* отличаются лишь конструктивно (подстроечный конденсатор или переменное сопротивление), а вариант *в* дает более крутой подъем характеристики в сторону высоких частот. Во всех трех вариантах подъем характеристики за счет действия конденсатора C не превышает 4—5 *дб*.

При малых скоростях движения ленты или при головках с широким рабочим зазором этот подъем оказывается недостаточным, чтобы компенсировать частотные и щелевые потери. Тогда применяют схему с LCR-делителем, по-

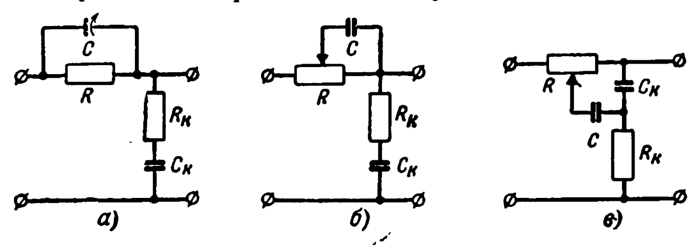


Рис. 26. Схемы RC-делителей с подъемом характеристики на высоких частотах.

казанную на рис. 27. Этот делитель включается так же, как и RC-делитель между первым и вторым или между вторым и третьим каскадами усилителя воспроизведения.

Контур LC настраивают на верхнюю рабочую частоту или иногда на несколько более высокую частоту. За счет увеличения Z между сеткой и катодом лампы, включенной на выход делителя, по мере приближения частоты к резо-

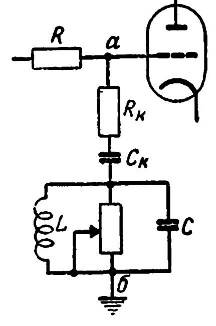


Рис. 27. Схема частотной коррекции с LCR-делителем.

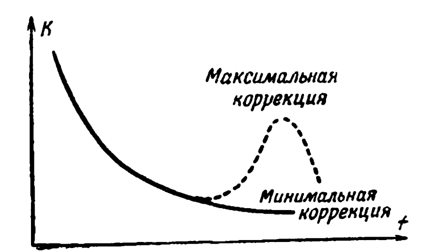


Рис. 28. Частотная характеристика усилителя воспроизведения с LCR-делителем при различных положениях регулятора коррекции.

нансной частоте контура достигается довольно значительный подъем частотной характеристики. Величина подъема регулируется переменным сопротивлением, шунтирующим контур. На рис. 28 приведены частотные характеристики $УВ$ в разных положениях этого регулятора коррекции.

Расчет всех данных LCR-делителя производится для соответственных деталей так же, как и для RC-делителя. Что

касается выбора элементов контура LC, то, кроме того, что они должны быть настроены на определенную частоту, следует иметь в виду, что чем больше отношение L/C, тем значительнее получается подъем характеристики и тем с более низких частот он начинается. Последнее обычно нежелательно. Поэтому выбор L и C контура следует производить экспериментально под ту головку воспроизведения, с которой будет работать усилитель.

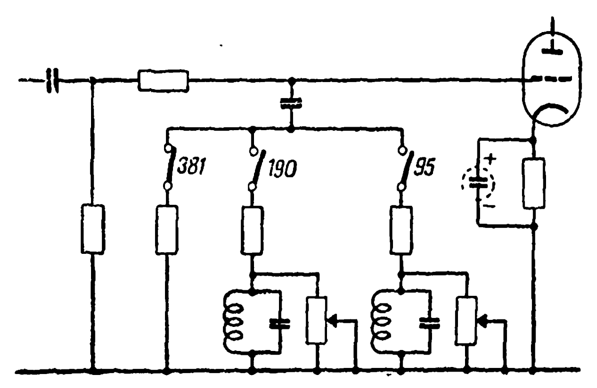


Рис. 29. Схема коррекции в усилителе воспроизведения трехскоростного магнитофона.

В настоящее время большое распространение получили двух-, трех- и даже четырехскоростные магнитофоны, у которых работа может производиться при разных скоростях ленты. При переходе с одной скорости на другую следует одновременно изменять и частотную характеристику усилителя воспроизведения. Схемы коррекции с RC- и LCR-делителями позволяют сравнительно просто осуществить такое изменение. На рис. 29 показана схема, рассчитанная на работу при трех скоростях ленты (381, 190 и 95 *мм/сек*). Включение цепей коррекции может производиться с помощью реле или галетным переключателем.

Схемы с RC- и LCR-делителями иногда осуществляют в несколько измененном виде, с элементами коррекции в анодной цепи лампы первого каскада (рис. 30). Элементы схемы на рис. 30, имеющие сходные названия с элементами схемы на рис. 25 и 27, получают аналогичное назначение. Схема с коррекцией в анодной цепи менее удобна для переключения в случае многоскоростного магнитофона. Кроме того, она работает хорошо только при большом внутреннем сопротивлении лампы, например при пентоде.

Во всех рассмотренных схемах для дополнительного подъема характеристики на высокой частоте может использоваться резонанс во входной цепи усилителя, для чего цепь с помощью подстроечного конденсатора C настраивается на верхнюю рабочую частоту (рис. 31). Величина подъема тем больше, чем ниже верхняя рабочая частота, так как она определяется в основном потерями энергии в сердечнике головки, которые уменьшаются при понижении

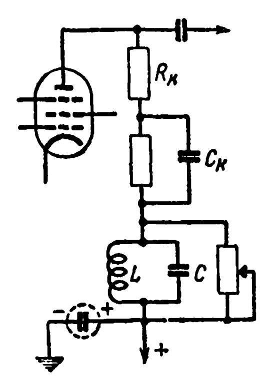


Рис. 30. Схема коррекции в анодной цепи.

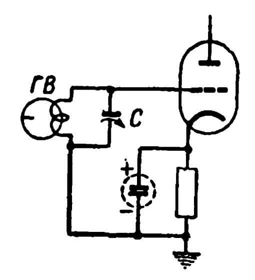


Рис. 31. Схема коррекции высоких частот во входной цепи усилителя воспроизведения.

частоты. Поэтому в магнитофонах с полосой частот до 5—6 *кгц* вполне возможно использовать коррекцию за счет резонанса во входной цепи как основное средство подъема характеристики на высокой частоте, не прибегая к *LC*-контуру в междукаскадном делителе.

Переходим к схемам усилителей воспроизведения, в которых частотная характеристика создается за счет обратной связи. Эти схемы также предназначены для работы с высокоомной воспроизводящей головкой. Первая из них показана на рис. 32,*а*. Величина обратной связи в этой схеме не остается постоянной. По мере увеличения частоты она усиливается, так как сопротивление конденсатора $C_к$ становится меньше и коэффициент усиления соответственно падает. Подбором величин $R_к$ и $C_к$ можно достичь характеристики, совпадающей по форме со стандартной характеристикой усилителя воспроизведения. Обычно сопротивление $R_к$ выбирают исходя из того, чтобы на высоких частотах не сильно изменялась нагрузка второго ка-

скада, составленная из параллельно включенных сопротивлений $R_{а2}$ и $R_к$. Для этого достаточно выполнить условие, чтобы $R_к = 2 - 3R_{а2}$. Тогда подбор нужной формы частотной характеристики производится конденсатором $C_к$. Сопротивление $R_{о\,с}$ должно быть намного меньше $R_к$, но не менее $R_к/15$—20, так как иначе обратная связь оказывается весьма слабой и получить нужный подъем характеристики в сторону низких частот не удается. Обычно $R_{о\,с}$ выбирается порядка нескольких килоом. Если $R_{см}$ получается той же величины, то их можно объединить. При этом из схемы исключаются $C_с$, $R_с$ и $C_{см}$.

Требуемый, как обычно, подъем характеристики на высоких частотах можно получить несколькими путями. Можно, например, параллельно сопротивлению обратной связи $R_{о.с}$ подключить конденсатор C (рис. 32,*а*). Благодаря его действию обратная связь на высокой частоте ослабевает и коэффициент усиления увеличивается. Для более значительных подъемов характеристики можно применять колебательный контур, включенный параллельно тому же сопротивлению (рис. 32,*б*) и настроенный на верхнюю рабочую частоту. Наконец, может быть применена схема с RC-фильтром в цепи обратной связи (рис. 32,*в*). В этой схеме модуль и фаза обратной связи изменяются с частотой. Подъем характеристики на низких частотах получается за счет действия конденсатора C_1, а подъем на высоких—за счет действия конденсатора C_2.

Преимущества и недостатки схем усилителей воспроизведения с коррекцией в цепи обратной связи связаны с принципиальными свойствами данных схем. Например, преимущество этих схем заключается в ослаблении нелинейных искажений, особенно на средних частотах, где обратная связь достаточно сильна. Благодаря действию обратной связи меньше изменяются свойства усилителя при смене ламп, понижается выходное сопротивление усилителя. Однако обратная связь приводит и к возникновению недостатков. Пульсации накального напряжения, например, сказываются в этих схемах на шумах усилителя значительно сильнее, так как в катоде лампы первого каскада включено незашунтированное конденсатором большой емкости сопротивление обратной связи. Пульсации анодного напряжения также сказываются сильнее благодаря тому, что через цепь обратной связи они попадают в сеточ-

ную цепь лампы первого каскада и усиливаются им. Наконец, имеется опасность самовозбуждения усилителя за пределами рабочего диапазона частот, где из-за действия паразитных реактивных сопротивлений обратная связь может иногда стать положительной. Особенно это относится к схеме на рис. 32,*в*. Если усилитель воспроизведения со-

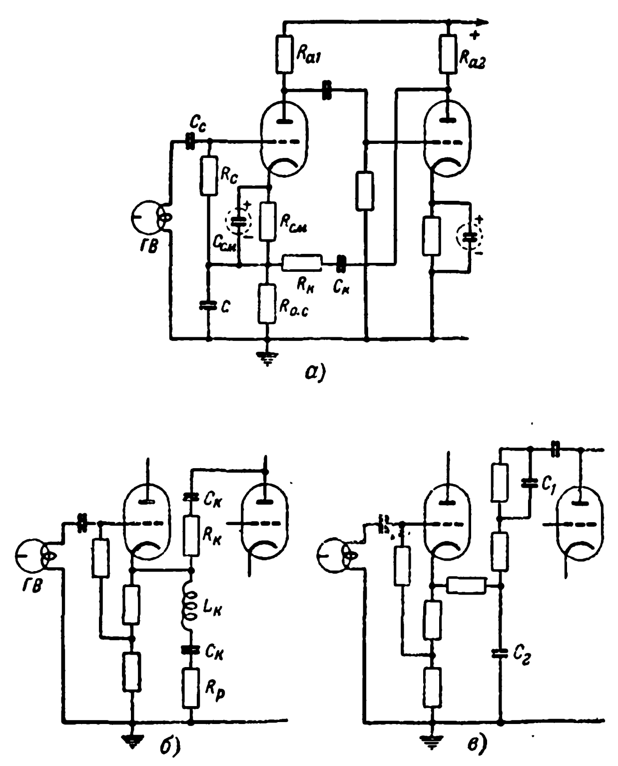


Рис. 32. Схемы коррекции с частотнозависимой обратной связью.

держит более двух каскадов, например три каскада, то схемы, приведенные на рис. 32, целесообразно применять во втором и третьем каскадах. Тогда не столь существенным становится возрастание шумов усилителя, свойственное этим схемам. В целом, схемы с коррекцией в цепи обратной связи менее желательны в усилителях воспроизведения, чем схемы с *RC* и *LCR*-делителями.

Переходим с схемам коррекции, применяемым при работе усилителя с низкоомной воспроизводящей головкой.

Такие головки, как известно, подключаются к первому каскаду через повышающий трансформатор. Если выбрать коэффициент трансформации не более $n=5$, то низкоомная головка и трансформатор будут аналогичны по свойствам высокоомной головке, и можно использовать схемы коррекции, рассмотренные ранее. Однако чаще всего коэффициент трансформации выбирают значительно больше (от $n=20$ до $n=60$), с тем чтобы облегчить борьбу с низкочастотными шумами. В этом случае в системе головка—

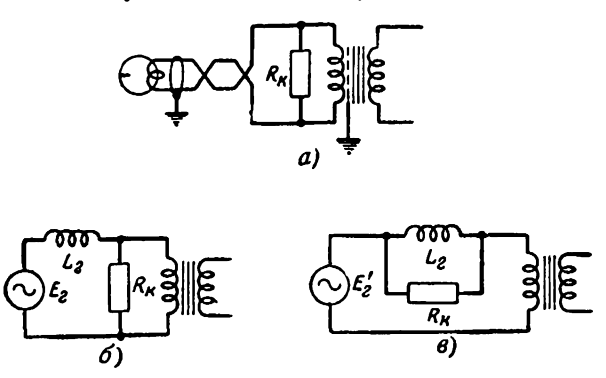


Рис. 33. Принципиальная (*а*) и эквивалентные (*б* и *в*) схемы входа усилителя воспроизведения с шунтированным трансформатором.

трансформатор на средних частотах возникает довольно сильный резонанс напряжений между собственной емкостью вторичной обмотки трансформатора и пересчитанной во вторичную обмотку индуктивностью головки, которая достигает весьма значительной величины, так как $L'_г = L_г n^2$.

Искажения частотной характеристики из-за резонанса очень велики, и их практически невозможно компенсировать в последующих цепях усилителя. Для борьбы с резонансом применяют шунтирование первичной или вторичной обмоток трансформатора активным сопротивлением (рис. 33,*а*). Эквивалентная схема, соответствующая такому включению головки, показана на рис. 33,*б*. Она может быть легко преобразована в схему рис. 33,*в*, где

$$E'_г = E_г \frac{R_к}{\sqrt{R_к^2 + \omega^2 L_г^2}}.$$

Если $R_к \ll \omega L_г$, то напряжение на вторичной обмотке трансформатора, т. е. на сетке лампы первого каскада, будет:

$$U_2 = E_г \frac{R_к}{\omega L_г} n. \qquad (9)$$

Коэффициент передачи входной цепи

$$K = \frac{U_2}{E_г} = \frac{R_к n}{\omega L_г}$$

обратно пропорционален частоте. Частотная характеристика коэффициента передачи (рис. 34) получается близкой к требуемой частотной характеристике усилителя воспроизведения, и на долю последующих цепей усилителя остается подъем характеристики лишь на высоких частотах.

Весь необходимый подъем в сторону низких частот осуществляется во входной цепи за счет шунтирования головки сопротивлением $R_к$. Однако это происходит лишь при условии, если $R_к \ll \omega L_г$. Для его выполнения на самой низкой рабочей частоте приходится применять очень малое сопротивление $R_к$, что, как видно из формулы (9), ослабляет полезный сигнал. Поэтому практически выбирают $\frac{R_к}{\omega_н L_г} = 5 \div 8$, и тогда характеристика на низких частотах не достигает требуемого подъема.

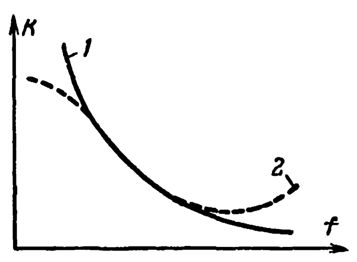


Рис. 34. Частотные характеристики коэффициента передачи.

1 — характеристика для схемы рис. 33,*а*; 2 — характеристика, требуемая для усилителя воспроизведения.

Так как во входной цепи происходит лишь частичное формирование необходимой частотной характеристики усилителя воспроизведения, в последующих цепях необходимо осуществлять подъем как низких, так и высоких частот. Это может быть получено применением схем с *LCR*-делителем или схем с коррекцией в цепи обратной связи, рассмотренных ранее, с той лишь разницей, что величины корректирующих элементов выбираются в зависимости от частотных свойств входного трансформатора и отношения $\frac{R_к}{\omega_н L_г}$.

Следующая схема коррекции показана на рис. 35. В ней коррекция также производится в цепи обратной связи, но осуществляется она только в пределах первого каскада. Сопротивлением обратной связи служит индуктивное выходное сопротивление трансформатора, поэтому обратная связь падает, а усиление каскада возрастает обратно пропорционально частоте так, как это и требуется для усилителя воспроизведения. Подъем на высоких частотах достигается за счет ослабления обратной связи на этих

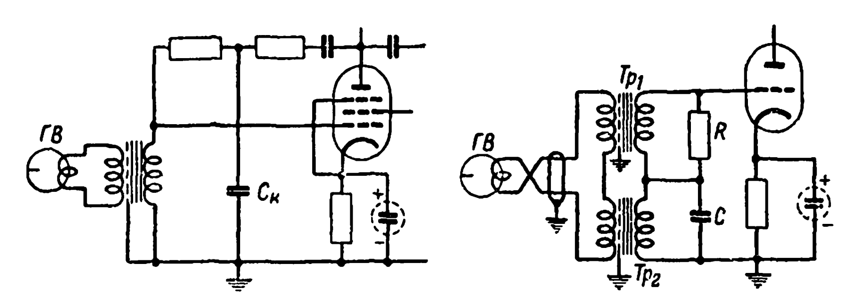


Рис. 35. Схема коррекции с помощью обратной связи во входной цепи усилителя воспроизведения.

Рис. 36. Схема с двухполосным входным трансформатором.

частотах конденсатором $C_к$. Иногда для большей величины этого подъема или придания ему желательной крутизны вместо конденсатора $C_к$ включают последовательный колебательный контур, настроенный на верхнюю рабочую частоту.

Данная схема может быть применена только с пентодом в первом каскаде, так как для получения нужной коррекции (порядка 20—23 *дб* на низких частотах) за счет обратной связи необходим коэффициент усиления лампы не менее 100. Преимуществом схемы является то, что резонансные явления в цепи головка — входной трансформатор здесь сглаживаются без применения шунта в трансформаторе (за счет действия обратной связи). На резонансной частоте входной сигнал повышается, но увеличивается и обратная связь, так как возрастает выходное сопротивление трансформатора. В результате эти явления компенсируют друг друга.

В заключение рассмотрим еще одну схему, использующую так называемый двухполосный входной трансформа-

тор, состоящий из двух соединенных последовательно трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ (рис. 36)[1].

Трансформатор $Тр_1$ имеет коэффициент трансформации порядка 1 : 10—1 : 15, а трансформатор $Тр_2$ — порядка 1 : 100. Принцип работы этого входного устройства заключается в том, что оба трансформатора работают раздельно (на низких частотах $Тр_2$, а на высоких $Тр_1$). Благодаря большому коэффициенту трансформации $Тр_2$ и действию емкости C полоса пропускания трансформатора достигает лишь 400—600 *гц*. На более высоких частотах он практически уже не создает напряжения на вторичной обмотке и не участвует в работе. Входное сопротивление трансформатора $Тр_2$ обусловливается пересчитанной в первичную обмотку емкостью C и становится очень малым на частотах выше его рабочего диапазона. Поэтому на этих частотах все напряжение, развиваемое головкой, оказывается приложенным лишь к трансформатору $Тр_1$, который работает вплоть до самых высоких частот.

Благодаря разделению функций передачи низких и высоких звуковых частот между двумя трансформаторами удается получить хорошее перекрытие как низкочастотных, так и высокочастотных шумов. Кроме того, выбором соотношения между коэффициентами трансформации обоих трансформаторов, а также величин шунтов R и C можно придать частотной характеристике напряжения на сетке лампы первого каскада форму, близкую к требуемой для усилителя воспроизведения. Тогда коррекция в последующих цепях усилителя получается весьма простой.

Двухполосный входной трансформатор применяется в большинстве отечественных магнитофонов стационарного типа, профессионального назначения. К его недостаткам следует отнести конструктивную сложность и склонность к микрофонному эффекту.

8. ВЫХОДНОЙ КАСКАД УСИЛИТЕЛЯ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

В зависимости от выбранной скелетной схемы магнитофона к усилителю воспроизведения могут предъявляться различные требования в части его выходных параметров. Как было рассмотрено в гл. 1, здесь возможны два случая: 1) работа усилителя воспроизведения на последующий

[1] Эта схема предложена в 1951 г. Е. Г. Ефимовым.

оконечный усилитель, входящий в состав магнитофона или же расположенный вблизи него, например в радиоприемнике (напомним, что под оконечным усилителем подразумевается не обязательно один, а возможно и несколько каскадов усиления, заключенных в определенный блок скелетной схемы и выполняющих возложенные на этот блок функции), и 2) работа усилителя на линию, соединяющую его с нагрузкой.

В первом случае выходное напряжение выбирается от 50 *мв* до 10 *в* (в зависимости от необходимого напряжения раскачки оконечного усилителя). Сопротивлением нагрузки служит входное сопротивление оконечного усилителя, обычно достаточно высокое. Выходная мощность мала, и выходной каскад усилителя в этом случае не имеет черт мощного усилителя, а представляет собой просто последний каскад усиления напряжения. Не имеет он и каких-либо специфических особенностей, связанных с применением в магнитофоне.

Поэтому мы сосредоточим внимание на втором случае, когда усилитель воспроизведения работает на линию. Хотя выходная мощность и здесь не превышает 0,1 *вт*, но все-таки она больше, чем в первом случае, вследствие чего приходится принимать меры по уменьшению нелинейных искажений.

При работе на линию, кроме того, желательно применять симметричный выход, так как это уменьшает взаимные помехи, создаваемые различными низкочастотными источниками, а также полностью устраняет опасность короткого замыкания из-за возможной несогласованности полярностей выхода усилителя воспроизведения и какого-либо потребителя, имеющего несимметричный вход.

Желательно также иметь возможно меньшее внутреннее (выходное) сопротивление (порядка 20—50 *ом*) усилителя воспроизведения. Это требование объясняется, во-первых, тем, что при работе на линию к выходу усилителя подключается большая межпроводная емкость, вредное действие которой, выражающееся в завале частотной характеристики на высоких частотах, будет тем меньше, чем ниже выходное сопротивление усилителя. Во-вторых, к выходу во время воспроизведения могут подсоединяться и отсоединяться различные потребители (оконечные усилители контрольных агрегатов, индикаторы уровня, разделительные усилители и т. д.). Такая коммутация сопровождается изменением выходного уровня, причем так как из-

менение происходит скачком, то прослушивается щелчок. Явление это крайне нежелательно, и для ослабления щелчка необходимо иметь малое внутреннее сопротивление усилителя, так как чем оно меньше, тем меньше изменяется выходной уровень при всяком изменении нагрузки.

В свете этих трех требований мы и рассмотрим ниже несколько возможных схем выхода усилителя воспроизведения, работающего на линию.

Наиболее простой из них можно считать обычную схему с понижающим выходным трансформатором в анодной цепи (рис. 37). Необычным для нее является лишь выбор нагрузочного коэффициента $a = R_н/R_i$. Вместо общепринятого значения a, равного 3—5, выбирают a, равное 10—20. Это связано с желанием понизить выходное сопротивление:

$$R_{вых} = \frac{(R_i + r_1)(R_н + r_2)}{aR_i - r_1} + r_2, \qquad (10)$$

где R_i — внутреннее сопротивление лампы;
$R_н$ — сопротивление нагрузки (входное сопротивление линии);
r_1 и r_2 — сопротивления обмоток трансформатора.

При работе на линию $R_н$ обычно равно 600 *ом*, поэтому для получения $R_{вых}$ порядка 20—50 *ом* необходимо брать a в пределах 10—20. Такое значение a достигается за счет большого коэффициента трансформации:

$$n = \sqrt{\frac{aR_i - r_1}{R_н + r_2}}, \qquad (11)$$

что, в свою очередь, вызывает большое колебательное напряжение на аноде выходной лампы:

$$U_{a\sim} = U_{вых} n \frac{r_2 n^2 + r_1 + R_н n^2}{R_н n^2} \approx U_{вых} n. \qquad (12)$$

Для того чтобы нелинейные искажения при этом оставались в пределах допустимых для усилителей воспроизведения, необходимо применять высокое анодное напряжение или вводить в оконечный каскад обратную связь по напряжению (рис. 38). Последнее полезно тем, что снижает выходное сопротивление усилителя, так как при обратной связи по напряжению R_i уменьшается, а a увеличивается в $(1 + K\beta)$ раз.

Другой специфической особенностью выходного каскада усилителя воспроизведения по схеме рис. 37 являются относительно большие габариты выходного трансформатора, несоразмерные с теми, которые требовались бы для передачи сравнительно небольшой выходной мощности усилителя. Такие увеличенные габариты определяются следующими двумя соображениями:

Из формулы (10) видно, что выходное сопротивление $R_{вых}$, включающее в себя сопротивления обмоток r_1 и r_2, никогда не может быть меньше r_2. Поэтому для получе-

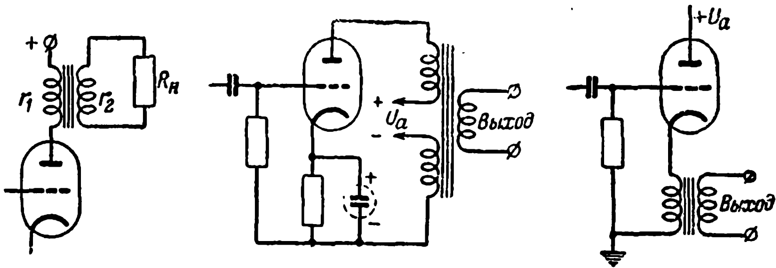


Рис. 37. Схема выхода усилителя воспроизведения с трансформатором в анодной цепи выходной лампы.

Рис. 38. Схема обратной связи в выходном каскаде усилителя воспроизведения.

Рис. 39. Схема выхода усилителя воспроизведения с трансформатором в катодной цепи.

ния малых значений $R_{вых}$ надо уменьшать сопротивления обмоток, что возможно либо при увеличении размеров окна сердечника и использовании более толстой проволоки, либо при увеличении набора сердечника и снижении количества витков.

Второе соображение по увеличению габаритов трансформатора вытекает из необходимости сокращения индукции в сердечнике и уменьшения возникающих из-за криволинейности характеристики намагничивания нелинейных искажений, которые могут достигать большой величины на нижних частотах рабочего диапазона. Для магнитофонов, работающих в полосе частот от 30 *гц*, сечение магнитопровода выбирается порядка 6—8 *см*^{3}.

В выходных каскадах усилителей воспроизведения широко используется также схема с выходным трансформатором в цепи катода (рис. 39). Благодаря 100%-й обратной связи по напряжению эта схема обладает весьма малым выходным сопротивлением и имеет незначительные

нелинейные искажения. Выходное сопротивление $R_{вых}$ может быть здесь рассчитано по формуле (10), если вместо R_i подставить выходное сопротивление лампы, равное $1/S$.

Так как расчет подобной схемы мало освещался в литературе, остановимся на нем подробнее.

Из конструктивных соображений и опыта выбирают величины сопротивлений r_1 и r_2. Обычно $r_1 = r_2 n^2$, и формула (10) принимает вид:

$$R_{вых} = \frac{R_н + 2r_2}{a} + 2r_2. \qquad (13)$$

Поэтому достаточно выбрать r_2, чтобы по заданным значениям $R_{вых}$ и $R_н$ найти величину a.

Затем подсчитывают коэффициент трансформации n по формуле (11), преобразованной для случая $r_1 = r_2 n^2$:

$$n = \sqrt{\frac{aR_i}{R_н + 2r_2}}. \qquad (14)$$

Как уже говорилось, в качестве R_i для этой схемы следует подставить значение $1/S$, которое у лампы в μ раз меньше, чем R_i. Поэтому значение n в схеме с трансформатором в цепи катода получается при одних и тех же лампах и $R_{вых}$ намного меньше, чем в схеме с трансформатором, включенным в анодную цепь.

Далее определяют пересчитанное сопротивление нагрузки:

$$R'_н = aR_i = \frac{a}{S} \qquad (15)$$

и амплитуду колебательного напряжения на катоде

$$U_{к\sim} \approx U_{вых} n, \qquad (16)$$

где $U_{вых}$ — амплитуда выходного напряжения, которую необходимо получить.

Задаваясь коэффициентом усиления каскада $K = 0{,}9$, находят примерное значение амплитуды переменного напряжения на его входе:

$$U_{вх} = \frac{U_{к\sim}}{0{,}9} \qquad (17)$$

и напряжение между сеткой и катодом лампы

$$U_{с\text{-}к} = U_{вх} - U_{к\sim}. \qquad (18)$$

Тогда необходимое напряжение отрицательного смещения

$$|E_с| = U_{с\text{-}к} + 1{,}5 \div 2 \text{ в}. \qquad (19)$$

По данным, полученным из формул (15), (16) и (19), и выбрав рекомендуемое для данной лампы рабочее напряжение $U_а$, определяют положение рабочей точки и строят динамическую характеристику в координатах $i_а = f(e_а)$ (рис. 40).

По характеристике уточняют необходимую для получения ранее найденного $U_{к\sim}$ величину напряжения между сеткой и катодом $U_{с\text{-}к}$ и отсюда определяют точное значение входного напряжения $U_{вх} = U_{к\sim} + U_{с\text{-}к}$.

Величина нелинейных искажений может быть найдена из динамической характеристики известным графоаналитическим методом и уменьшена в $(1+K)$ раз, так как в схеме действует 100%-я обратная связь. Напомним, что под K в этом случае понимается не истинное усиление каскада, а то усиление, которое он имел бы при отсутствии обратной связи, т. е.

$$K = \mu \frac{R'_н}{R'_н + R_i},$$

где $R'_н$ определяется формулой (15);

R_i — внутреннее сопротивление лампы.

Если нелинейные искажения получаются больше заданной величины, то можно попробовать изменить положение начальной рабочей точки, т. е. выбрать другие значения $U_а$ и $E_с$.

Следует учесть, что точность графоаналитического метода не позволяет определять нелинейные искажения, меньшие чем 0,5%. Поэтому окончательный выбор положения рабочей точки производится экспериментально.

В рассматриваемой схеме обычно стараются выбрать сопротивление первичной обмотки таким, чтобы падение постоянного напряжения на ней было равно рассчитанному напряжению сеточного смещения. Это позволяет обойтись без сопротивления и конденсатора смещения. В случае же затруднений они, конечно, могут быть введены в схему так, как это показано на рис. 41.

Своеобразен для данной схемы подход к выбору индуктивности первичной обмотки L_1. Если в схеме с трансфор-

матором в анодной цепи она выбирается только из соображений допустимого завала частотной характеристики на низких частотах, то при катодном включении трансформатора более жестким критерием оказывается величина нелинейных искажений на низких частотах. Действительно, в случае недостаточности L_1 общее сопротивление нагрузки лампы уменьшается на низких частотах, динамическая характеристика располагается более круто, как показано

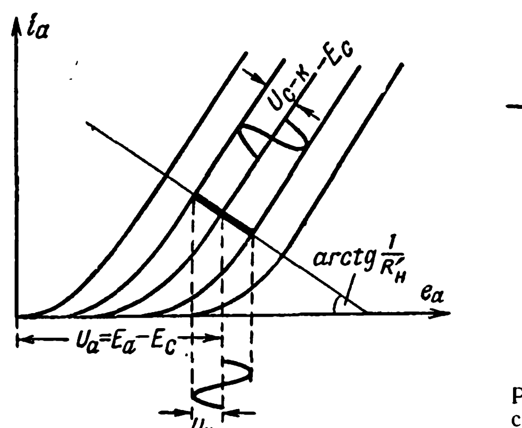


Рис. 40. Динамическая характеристика работы лампы для схемы на рис. 39.

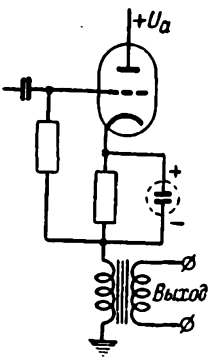


Рис. 41. Вариант схемы выхода усилителя с трансформатором в катодной цепи.

на рис. 42 и нелинейные искажения растут. Положение характеристики, показанное под цифрой *2*, является предельным, при котором еще возможно получение колебательного напряжения $U_{к\sim}$ без отсечки кривой.

При положении характеристики, показанном под цифрой *3*, заштрихованная часть синусоиды отсекается в анодном токе. Поэтому надо графоаналитически найти то положение динамической характеристики, которое соответствует допустимым нелинейным искажениям на самой низкой рабочей частоте $\omega_н$, определить соответствующее ее наклону значение сопротивления нагрузки $Z_н$ и далее вычислить минимально необходимую индуктивность первичной обмотки трансформатора:

$$L = \frac{Z_н R'_н}{\omega_н \sqrt{R'^2_н - Z^2_н}}. \qquad (20)$$

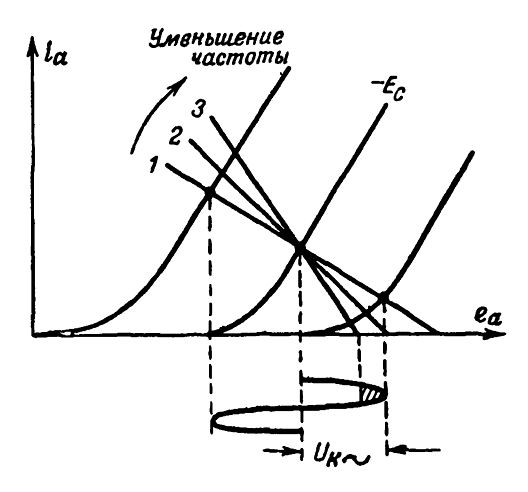


Рис. 42. Изменение наклона динамической характеристики в схеме рис. 39 при недостаточной индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора.

Заканчивая разбор схемы с трансформатором в катодной цепи, отметим, что основными ее недостатками являются отсутствие усиления в выходном каскаде и необходимость большого напряжения для раскачки, что, с одной стороны, увеличивает число ламп в усилителе, а с другой — усложняет построение предоконечного каскада, так как в нем также возникает опасность появления нелинейных искажений.

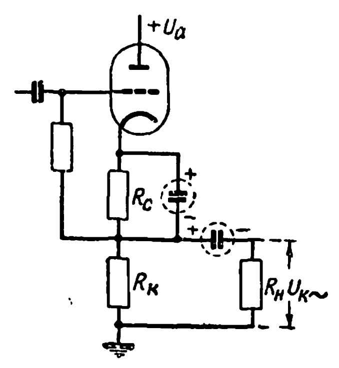


Рис. 43. Схема катодного повторителя в выходном каскаде усилителя воспроизведения.

Рассмотрим еще одну схему (схему катодного повторителя), показанную на рис. 43. Отсутствие в ней выходного трансформатора упрощает конструкцию усилителя воспроизведения и снижает его вес. Поэтому данная схема находит применение в переносных и перевозных магнитофонах, выполненных по скелетной схеме, показанной на рис. 2. Усилители воспроизведения в этих магнитофонах во время записи и воспроизведения нагружены на выходные сопротивления оконечного усилителя (или теле-

фонных трубок) и индикатора уровня, т. е. нагружены очень мало. Поэтому относительно большое выходное сопротивление данной схемы ($1/S$), равное нескольким сотням ом, не является большим недостатком.

Другой недостаток схемы — несимметричность ее выхода — для магнитофонов указанной группы также не столь существенен, так как они не работают на длинные линии и большое количество нагрузок. Максимальная на-

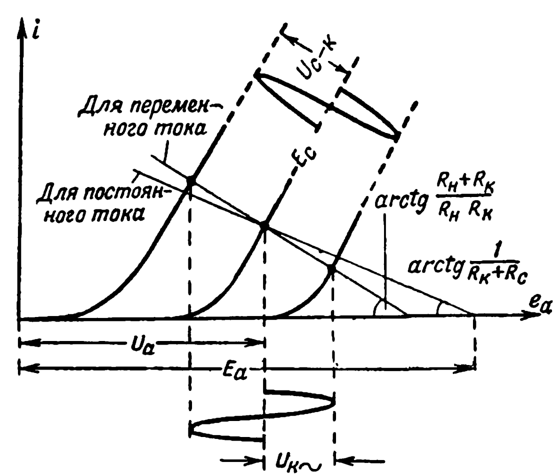


Рис. 44. Динамическая характеристика работы лампы для схемы на рис. 43.

грузка, на которую надо рассчитывать схему, — это входное сопротивление микшерского усилителя при перезаписи. Сравнительно малая величина последнего (600 *ом*) обусловливает повышенные нелинейные искажения, доходящие обычно до 1%.

Выбор режима и сопротивления $R_к$ может быть при расчете произведен графоаналитическим путем. При построении динамической характеристики следует учитывать различие нагрузок лампы по постоянной и переменной составляющим анодного тока. Нагрузкой для постоянного тока является сопротивление $R_к + R_с$, а для переменного — сопротивления $R_к$ и $R_н$, включенные параллельно. На рис. 44 приведены динамические характеристики как для той, так и для другой составляющих. С увеличением $R_к$ динамическая характеристика для переменного тока становится бо-

лее пологой, что само по себе способствует снижению нелинейных искажений, однако одновременно перемещается вниз и рабочая точка, что приводит к противоположному результату. Окончательный выбор производится путем сравнения нескольких режимов, полученных при различных $R_к$.

В заключение остановимся на нелинейных искажениях в остальных каскадах усилителя воспроизведения. Опыт показывает, что в неблагоприятных случаях эти искажения могут быть даже больше, чем искажения в выходном каскаде. Основная причина этого заключается в том, что для питания анодов ламп усилителя (особенно первых каскадов) хорошо сглаженным напряжением в схему вводят RC-фильтры с большим сопротивлением. Это приводит к резкому уменьшению анодных напряжений и, как следствие, к нелинейным искажениям, достигающим 0,7—1%, несмотря на малые амплитуды колебаний, усиливаемых первыми каскадами. Наиболее опасны в этом отношении второй и предоконечный каскады, особенно в том случае, если коррекция с помощью RC-делителя включена после второго каскада.

Обнаружить искажения в первых каскадах не всегда просто. Наиболее правильный путь состоит в измерении коэффициента нелинейных искажений при постепенном наращивании числа испытуемых каскадов, считая с выходного. Например, сначала измеряется один выходной каскад, затем выходной и предыдущий, затем уже три каскада и т. д. Измерения производятся при одном значении $U_{вых}$. Если они дают незначительно нарастающие результаты, то работа усилителя в этом отношении может считаться нормальной. Если же при добавлении в число измеряемых какого-либо каскада коэффициент нелинейных искажений или резко возрастает, или хотя бы незначительно снижается по сравнению с предыдущим измерением, то это является признаком наличия искажений в данном каскаде. Может, например, получиться, что искажения одного выходного каскада равны 0,8%, а выходного и предоконечного вместе взятых всего 0,3%. Уменьшение искажений происходит здесь в силу того, что в предоконечном каскаде они слишком велики и частично компенсируют собой искажения в выходном каскаде.

Эта компенсация наглядно объяснена на рис. 45. Из-за переворачивания в лампе фазы напряжения на 180° искажения формы кривой, возникающие в предоконечном кас-

каде, противоположны по своему характеру искажениям, возникающим в выходном каскаде, и взаимно компенсируются. Такая компенсация неустойчива, она легко нарушается при смене ламп и изменении режима питания. Ее

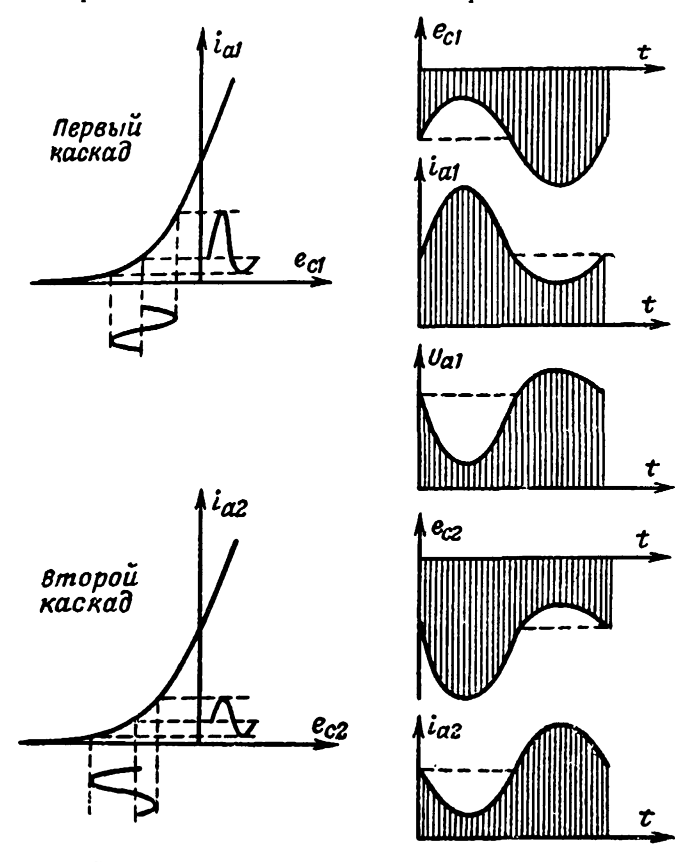


Рис. 45. Компенсация нелинейных искажений, возникающих в последовательных каскадах усилителя, и графики, поясняющие этот процесс.

надо избегать, для чего необходимо уменьшать нелинейные искажения во всех каскадах, о чем и говорилось выше.

Если не удается повысить анодное напряжение за счет источника питания, то наиболее надежным способом уменьшения искажений является введение покаскадных обратных связей. Простейшей является обратная связь по току, которая получается в усилительном каскаде, если отклю-

чить конденсатор, шунтирующий катодное сопротивление автоматического смещения.

Для получения высокого качества воспроизведения следует обеспечить достаточно малые нелинейные искажения в усилителе воспроизведения во всем рабочем диапазоне частот. Для этого, исходя из экспериментально снятой частотной характеристики э. д. с., развиваемой данной воспроизводящей головкой при воспроизведении контрольной испытательной ленты, следует просчитать во всем диапазоне частот входные напряжения отдельных каскадов и выбрать режим их работы исходя из наибольшего напряжения (так как контрольные ленты содержат запись с уровнем, в 10 раз меньшим максимально-допустимого, эти напряжения должны быть увеличены в 10 раз).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УСИЛИТЕЛИ ЗАПИСИ

9. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В соответствии с приведенными в гл. 1 скелетными схемами магнитофонов под усилителем записи мы условились понимать те каскады усиления в тракте записи, основным назначением которых являются частотная коррекция записываемых на ленту сигналов и посылка этих сигналов в головку записи. В соответствии с указанным назначением можно отметить три основные особенности усилителя записи, влияющие на построение его схемы: 1) работа выходного каскада на нагрузку индуктивного характера (головка записи); 2) наличие частотной коррекции усиливаемого сигнала и 3) смешение выходного сигнала с высокочастотными колебаниями, осуществляющими подмагничивание ленты во время записи.

Эти главные особенности усилителя будут рассмотрены в дальнейшем, теперь же мы остановимся на других вопросах работы усилителя записи и построения его схемы.

Вход усилителя записи, если последний предназначен для работы с линии, делается симметричным, для чего в схему включают входной трансформатор. Полное входное сопротивление трансформатора во всем рабочем диапазоне частот должно в 8—10 раз превосходить сопротивление линии, для того чтобы подключение к ней даже нескольких

магнитофонов не производило заметного снижения уровня сигнала.

Если усилитель работает от предыдущих каскадов тракта записи своего же магнитофона (например, от микрофонного усилителя), то вход его делают несимметричным. Он связывается и согласуется с предыдущим каскадом так, как это обычно принято в усилителях низкой частоты.

В усилителе записи должен предусматриваться регулятор усиления, о назначении которого говорилось в гл. 1. Это обычный для схем усилителей потенциометр, включаемый между каскадами или на входе усилителя. Этот регулятор нельзя включать внутри той части схемы усилителя, которая охвачена обратной связью (если она применяется).

Собственные шумы усилителя, весьма существенные и труднопреодолимые в усилителе воспроизведения, не являются столь серьезным препятствием в усилителе записи. Это объясняется тем, что величина полезного сигнала на входе усилителя записи намного больше. Поэтому, хотя относительный уровень шума усилителя записи и должен быть примерно на 10 *дб* ниже, чем относительный уровень шума магнитофона в целом, но достигается он сравнительно просто. В частности, например, питание накала ламп можно производить переменным током, используя лишь меры ослабления действия пульсации (см. § 4). Пульсации анодного питания также допускаются бо́льшие, чем для усилителя воспроизведения. Расчет их величины производится по тому же методу, который был рассмотрен в § 4 для усилителей воспроизведения.

По своему спектральному составу шум усилителя записи главным образом низкочастотный (фон). Для правильной оценки шума надо учитывать, что следующие за усилителем записи в сквозном канале элементы скелетной схемы (головка записи, лента, головка и усилитель воспроизведения) компенсируют своим действием частотную коррекцию усилителя и соответственно влияют на отдельные шумовые компоненты. Предположим, что в усилителе записи имеется подъем частотной характеристики на высоких частотах. Вследствие этого высокочастотные шумы усилителя будут усилены. В то же время на выходе магнитофона действие этих шумов будет ослаблено ровно настолько, насколько они получились бы меньше, при измерении усилителя записи в отдельности, если частотная характеристика была бы горизонтальна в пределах рабочего диапазона. Это следует учитывать при расчетах и измерениях шумов

усилителя записи. В последнем случае или выводят регулятор коррекции на минимум (если есть такой регулятор) до получения горизонтальной характеристики, или включают измерительный прибор через фильтр, имеющий частотную характеристику, обратную характеристике усилителя записи.

Обычно усилитель записи конструктивно объединен с генератором высокой частоты для стирания и подмагничивания ленты или по крайней мере близко к нему расположен. Это создает опасность высокочастотных наводок на отдельные провода схемы усилителя, в результате чего может нарушиться нормальный режим работы ламп (появятся сеточные токи). По той же причине иногда наблюдается увеличение уровня шума усилителя. Объясняется это тем, что генератор высокой частоты вырабатывает колебания, модулированные в какой-то степени пульсациями анодного напряжения, а в усилителе из-за нелинейности ламп происходят детектирование наведенного сигнала и преобразование его в фон переменного тока. Для защиты от действия высокой частоты сеточные провода ламп усилителя необходимо экранировать, заключая их в металлическую оплетку, соединенную с шасси усилителя. Немаловажную роль в защите от действия высокой частоты играет удачное взаиморасположение деталей усилителя и генератора, а также правильный их монтаж.

Мощность, потребляемая цепью головки записи, весьма мала (несколько сотых долей ватта), поэтому получение в усилителе записи нелинейных искажений порядка 0,5% является вполне реальным. Для достижения этого применяют достаточно высокое анодное напряжение (150—200 *в*) и обратную связь (либо внутрикаскадную, либо охватывающую те каскады, где нет элементов схемы, осуществляющих частотную коррекцию сигнала). Возможны, впрочем, и схемы с частотнозависимой обратной связью; они одновременно уменьшают нелинейные искажения и корректируют сигнал. Такие схемы будут далее рассмотрены.

Во время воспроизведения головку записи необходимо обесточить, чтобы исключить ее воздействие на ленту и не испортить фонограмму (не наложить на старую новую запись). Для этого надо либо отключить головку записи от усилителя, либо снять с последнего анодное питание.

При скелетной схеме магнитофона, выполненной по рис. 2, нужно отключать головку, так как в паузах запи-

си усилитель остается включенным, что позволяет осуществлять слуховой контроль сигналов, приходящих на его вход. При переходе в режимы: «стоп», «воспроизведение» или «перемотка», кроме отключения головки записи, необходимо также снять анодное питание с генератора высокой частоты, так как иначе головка стирания, соединенная с ним, сотрет фонограмму при перемотке ленты или при ее воспроизведении. При этом должна обязательно соблюдаться следующая очередность коммутации. При включении магнитофона на запись сначала подается анодное напряжение на генератор, а потом замыкаются контакты, подсоединяющие головку записи к выходу усилителя записи. При выключении записи коммутация должна производиться в обратной последовательности. Несоблюдение этого приводит к замагничиванию головки записи начальным импульсом анодного тока генератора и зашумливанию вследствие этого фонограммы. Надлежащая очередность коммутации может осуществляться при помощи двух реле с различным временем срабатывания, а также за счет взаиморасположения контактов одного реле или контактов, связанных с органами управления магнитофоном.

При скелетной схеме, соответствующей рис. 1, могут применяться как отключение головки записи, так и снятие анодного питания. Чтобы при этом головка записи не замагничивалась, кроме очередности коммутации применяют еще специальные схемы, устраняющие быстрое нарастание и спадание анодного тока усилителя записи и генератора при их включении и выключении. Эти схемы построены на использовании в анодной или сеточной цепях RC-фильтров с большой постоянной времени.

10. ВЫХОДНОЙ КАСКАД И ВЫХОДНЫЕ ЦЕПИ УСИЛИТЕЛЯ

Действие записывающей головки на магнитную ленту может быть выражено как через напряжение, так и через ток в обмотке. Действительно, при синусоидальном сигнале магнитный поток Ф в сердечнике головки может быть вычислен, как:

$$Ф = K_1 \frac{U_г}{wf} \text{ и } Ф = K_2 \frac{i_г w}{R_м},$$

где $U_г$ — напряжение на головку;

$i_г$ — ток через обмотку головки;

w — число витков обмотки;

f — частота сигнала;

$R_м$ — полное магнитное сопротивление головки;

K_1 и K_2 — коэффициенты пропорциональности, зависящие от выбора единиц измерения.

Магнитный поток может рассматриваться как мера воздействия головки на ленту, поскольку это воздействие пропорционально напряженности поля записи, а последнее пропорционально магнитному потоку в сердечнике головки. Сравнивая два вышеприведенных выражения для потока Ф, мы видим, что преимуществом второго является независимость потока от частоты. А так как работа головки записи происходит в рабочем диапазоне частот, то второе выражение удобнее. Используя же первое выражение, мы должны были бы в каждом случае указывать не только величину напряжения на головке, но и частоту сигнала. Это выражение, кроме того, предполагает, что активное сопротивление обмотки намного меньше реактивного. Второе же выражение справедливо при малых потерях энергии в сердечнике и окружающем головку пространстве.

Нетрудно показать, что в диапазоне звуковых частот первое предположение не всегда выполняется, в то время как второе можно практически считать всегда осуществленным. Поэтому при дальнейшем изложении мы будем оценивать воздействие головки на ленту и выходной эффект, создаваемый усилителем записи, по току через обмотку. Величина этого тока зависит от конструкции головки, числа витков ее обмотки, выбора подмагничивания и свойств магнитной ленты. Обычно записывающие головки, работающие от усилителя записи, имеют небольшое число витков, т. е. относятся к числу низкоомных. Объясняется это тем, что для таких головок не требуется высокого напряжения подмагничивания, что упрощает построение генератора высокой частоты. Типовая головка записи типа 3-02, например, имеющая 300 витков, создает максимальное намагничивание ленты типа 2 (эффективное значение остаточного магнитного потока 160 *ммкс*) при эффективном токе через обмотку порядка 2 *ма*, когда подмагничивание ленты выбрано оптимальным, по отдаче. Очевидно, что для создания одинакового воздействия на ленту во всем рабочем диапазоне частот необходимо поддерживать ток записи постоянным (не следует путать воздействие с результатом воздействия, т. е. с остаточным магнитным потоком ленты, так как последний не будет постоянным при $i_г = \text{const}$, а будет уменьшаться по мере повышения частоты

из-за размагничивающего действия на ленту головки записи, саморазмагничивания ленты и других причин).

Так как сопротивление обмотки $\omega L_г$ растет с частотой, то поддержание постоянного тока приводит к необходимости иметь на выходе усилителя напряжение, питающее головку, также растущее с частотой, т. е. $U_г = i_г \omega L_г$, что весьма неудобно, так как требует в усилителе специальной частотной коррекции для получения такой пропорциональности выходного напряжения частоте. Кроме того, это ставит выходной каскад в режим переменной нагрузки сопротивление которой весьма мало на низких частотах из-за чего на этих частотах возрастают нелинейные искажения.

Отсюда возникает вопрос о стабилизации сопротивления нагрузки в усилителе записи. Простейшим способом стабилизации является включение последовательно с головкой достаточно большого ограничительного сопротивления R, выбранного так, что во всем диапазоне частот $R \gg \omega_г L_г$. Тогда сопротивление нагрузки усилителя может считаться равным сопротивлению R. Практически для этого достаточно, чтобы ограничительное сопротивление выбиралось следующим образом:

$$R = 2\omega_в L_г = 4\pi f_в L_г, \qquad (21)$$

где $f_в$ — верхняя рабочая частота, *гц*;

$L_г$ — индуктивность головки записи, *гн*.

Вторым способом стабилизации нагрузки в усилителе записи является включение последовательно с головкой записи параллельно соединенных сопротивления R и конденсатора C (рис. 46). Полное входное сопротивление такой цепи (между точками A и $Б$) может быть вычислено по формуле

$$Z = R\alpha \frac{\sqrt{\alpha^2 + (k^3 + \alpha^2 k - k)^2}}{k^2 + \alpha^2}, \qquad (22)$$

где $\alpha = \frac{\omega_p L_г}{R}$; $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_г C}}$; $k = \frac{\omega}{\omega_p}$.

ω — круговая частота, для которой подсчитывается сопротивление Z.

Исследуя изменение Z в диапазоне частот от $\omega = 0$ до $\omega = \omega_p$ в зависимости от выбранной величины α, мы полу-

чим кривые (рис. 47), исходя из которых можно сделать следующие выводы:

1. Наилучшая стабилизация сопротивления достигается при $\alpha = 1{,}6$.

2. При $\alpha < 1{,}6$ ток через обмотку головки при постоянстве входного напряжения усиливается по мере возраста-

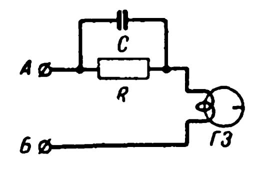


Рис. 46. Схема стабилизации нагрузки усилителя записи с помощью RC-цепи.

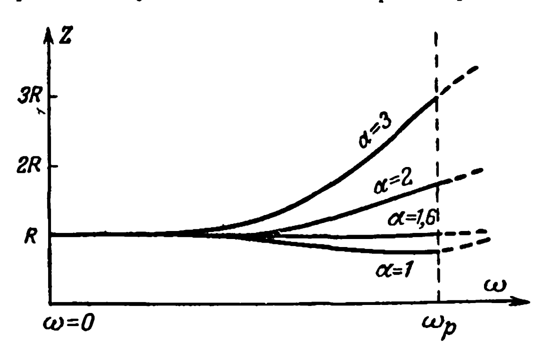


Рис. 47. К расчету сопротивления нагрузки усилителя записи.

ния частоты, так как Z падает. Это может быть использовано для получения (хотя бы частично) необходимой в усилителе записи частотной коррекции сигнала. При этом следует выбрать ω_p равной верхней рабочей частоте, иначе максимум тока будет сдвинут в пределы рабочей полосы.

С учетом сказанного расчет ограничительной цепочки производим в следующем порядке:

Принимаем

$$\omega = \omega_p = 2\pi f_в,$$

где $f_в$ — верхняя рабочая частота, *гц*.

Определяем величину сопротивления:

$$R = \frac{\omega_p L_г}{\alpha} = \frac{\omega_в L_г}{1{,}6}, \qquad (23)$$

где $L_г$ — индуктивность, *гн*.

Затем определяем емкость конденсатора:

$$C = \frac{1}{\omega_в^2 L_г}, \qquad (24)$$

где C — емкость, *ф*.

Оба способа стабилизации нагрузки усилителя, как с помощью ограничительного сопротивления, так и с помо-

щью цепочки RC применяются в различных магнитофонах. Мы еще вернемся к сравнению их между собой, но пока лишь отметим, что при ограничительном сопротивлении R выходное напряжение и выходная мощность усилителя записи должны быть, при прочих равных условиях, больше, чем при схеме с цепочкой RC. К этому выводу нетрудно прийти, сопоставив формулы (21) и (23), из которых следует, что общее сопротивление цепи головки записи получается в первом случае в 3,2 раза больше, чем во втором.

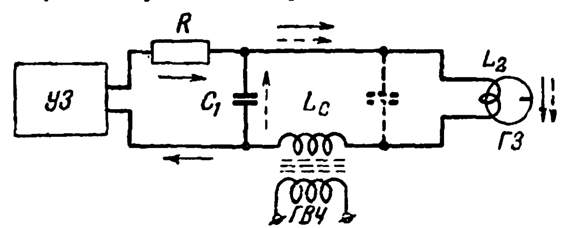


Рис. 48. Последовательная схема смешения токов звуковой частоты и подмагничивания.

Таким образом, с точки зрения снижения нелинейных искажений более предпочтительна схема с RC-цепочкой.

Рассмотрим теперь схему смешения на выходе усилителя токов звуковой и высокой частоты (подмагничивания). Смешение может производиться или последовательным, или параллельным соединениями источников колебаний звуковой и высокой частоты. Соответственно различают параллельную и последовательную схемы смешения.

На рис. 48 показана последовательная схема. На ней сплошными стрелками обозначено прохождение тока звуковой частоты, а штриховыми — тока подмагничивания. Защита усилителя от попадания в него тока подмагничивания от катушки связи генератора подмагничивания L_c осуществляется конденсатором C_1, емкость которого выбирается таким образом, чтобы на частоте подмагничивания $\omega_п$ выполнялось равенство

$$\frac{1}{\omega_п C_1} = \frac{R}{2 \div 3}, \qquad (25)$$

и путь через выходное сопротивление усилителя и сопротивление R был намного труднее, чем путь через конденсатор C_1 (в данной схеме нельзя применять стабилизацию нагрузки усилителя с помощью цепочки RC, так как тогда

защитное действие R исчезает и ток подмагничивания через RC ответвится в усилитель). В то же время шунтирование головки записи этим конденсатором должно быть незначительным даже на верхней рабочей частоте $\omega_в$:

$$\frac{1}{\omega_в C_1} = 3 \div 5\,[\omega_в (L_г + L_с)].$$

Так как $L_с \ll L_г$, а $\omega_в L_г = \frac{1}{2} R$ [см. формулу (21)], то последнее выражение перепишется в виде:

$$\frac{1}{\omega_в C_1} = 1,5 \div 2,5R. \qquad (26)$$

Деля по частям равенства (26) и (25), получим:

$$\frac{\omega_п}{\omega_в} = \frac{f_п}{f_в} = 3 \div 7,5. \qquad (27)$$

Хорошее разделение путей токов звуковой частоты и подмагничивания получается, когда отношение $\frac{f_п}{f_в} = 6 \div 8$. Например, при работе магнитофона в диапазоне частот до 10 000 *гц*, частота подмагничивания должна, по изложенным соображениям, быть не менее 60 — 80 *кгц*, что на практике и выполняется.

Если принять отношение $\frac{f_п}{f_в} = 6$, то равенство (25) можно записать в виде:

$$\frac{1}{6\omega_в C_1} = \frac{R}{2 \div 3}, \text{ или } \frac{1}{\omega_в C_1} = 2 \div 3R.$$

С другой стороны, из равенства (26) имеем:

$$\frac{1}{\omega_в C_1} = 1,5 \div 2,5R.$$

Сопоставляя два последних равенства и принимая среднюю величину числового коэффициента равной 2, приходим к формуле для расчета конденсатора C_1:

$$C_1 = \frac{1}{2R\omega_в} = \frac{1}{4\pi R f_в}, \qquad (28)$$

где R — сопротивление, *ом*;
C_1 — емкость, *ф*.

Серьезным недостатком последовательной схемы является затруднительность регулировки тока подмагничивания, которая может достигаться либо путем устройства отводов от катушки связи $L_с$, либо введением в генератор регулятора, изменяющего величину э. д. с., наведенной в катушке связи.

Более часто поэтому применяют параллельную схему смешения, приведенную на рис. 49 (сплошные стрелки здесь также показывают путь тока звуковой частоты, а штриховые — тока подмагничивания).

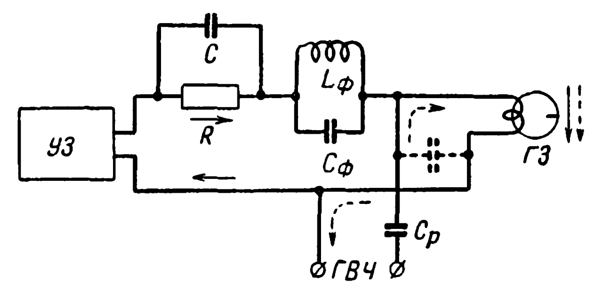


Рис. 49. Параллельная схема смешения токов звуковой частоты и подмагничивания.

Путь току подмагничивания в усилитель записи преграждает контур $L_ф C_ф$ (фильтр—пробка), настроенный на частоту тока подмагничивания. Путь току звуковой частоты в генератор преграждает разделительный конденсатор $C_р$ небольшой емкости, сопротивление которого на самой высокой рабочей частоте должно быть во много раз больше сопротивления головки *ГЗ*.

Конденсатор $C_р$ часто делают полупеременным и с его помощью регулируют ток подмагничивания. Для достижения регулирующего действия сопротивление конденсатора C и на частоте подмагничивания должно быть в 3 — 5 раз больше, чем сопротивление записывающей головки. Так как это требование перекрывает предыдущее, из него можно вывести расчетную формулу для емкости конденсатора $C_р$:

$$\frac{1}{\omega_п C_{р.макс}} = 3 \div 5\omega_п L_г;$$

$$C_{р.макс} = \frac{1}{3 \div 5\omega_п^2 L_г},$$

где $L_г$ — индуктивность, *гн*;
$C_{р.макс}$ — емкость, *ф*.

Последняя формула может быть преобразована, если среднее значение коэффициента в знаменателе принять равным 4 и изменить единицы измерений. Тогда

$$C_{р.макс} = \frac{6 \cdot 10^6}{f_п^2 L_г}, \qquad (29)$$

где $C_{р.макс}$ — емкость, *пф*;
$f_п$ — частота подмагничивания, *кгц*;
$L_г$ — индуктивность головки записи, *мгн*.

Выбор данных фильтра-пробки производится из следующих соображений: во-первых, резонансная частота фильтра должна совпадать с частотой подмагничивания:

$$f_п = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_ф C_ф}}, \qquad (30)$$

во-вторых, так как катушка фильтра включена последовательно с обмоткой головки в цепи прохождения тока звуковой частоты (см. рис. 49), то при расчете стабилизирующей цепочки RC по формулам (23) и (24) вместо $L_г$ следует подставить $L_г + L_ф$. Поэтому не следует брать слишком большое $L_ф$, так как это вызовет увеличение R, что, в свою очередь, потребует большего выходного напряжения и выходной мощности от усилителя записи. С другой стороны, при малом значении $L_ф$ резонансное сопротивление фильтра $Z_ф = \frac{L_ф}{C_ф R_ф}$ получается недостаточным, и он плохо работает. Практически выбирают:

$$L_ф = 0{,}25 \div 1 L_г, \qquad (31)$$

уточняя затем ее величину из конструктивных соображений.

Для повышения $Z_ф$ катушку фильтра необходимо наматывать возможно более толстой проволокой и на сердечнике с малыми потерями (карбонильное железо, оксифер). Требуемая величина $Z_ф$ может быть уточнена, если известна мощность $P_п$, затрачиваемая током подмагничивания головки. Тогда

$$Z_ф = 5 \div 8 \frac{U_п^2}{P_п}, \qquad (32)$$

где $U_п$ — напряжение подмагничивания головки, *в*;

$P_п$ — мощность подмагничивания, *вт*.

Формулы (30), (31) и (32) дают возможность рассчитать все электрические данные фильтра-пробки.

Преимуществом параллельной схемы смешения является легкость плавной регулировки в широких пределах тока подмагничивания. Для этого, как указывалось, достаточно взять конденсатор $C_р$ полупеременным. Недостаток схемы — усложнение конструкции усилителя из-за фильтра-пробки.

Как при параллельной, так и при последовательной схемах смешения головку записи часто шунтируют конденсатором небольшой емкости (на рис. 48 и 49 он показан пунктиром). Делается это для того, чтобы улучшить форму тока подмагничивания, отфильтровав его высшие гармоники. Емкость конденсатора выбирается такой, чтобы в сочетании с индуктивностью головки образовался контур, настроенный на частоту тока подмагничивания.

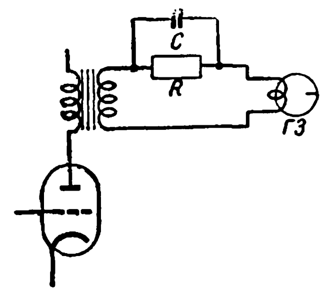


Рис. 50. Схема выходного каскада усилителя записи с трансформатором в анодной цепи.

Переходим теперь к схемам выходного каскада усилителя записи. Незначительность полезной мощности, которую должен развивать этот каскад, делает целесообразным применение в нем маломощных триодов. Внутреннее сопротивление их желательно не более 10 000 *ом*, чтобы легче было согласовать его с нагрузкой (цепью головки записи). Такими лампами являются, например, 6Н3П, 6Н8С и им подобные.

Наиболее простой является схема с выходным трансформатором в анодной цепи. На рис. 50 показан вариант схемы с цепочкой RC в качестве стабилизатора нагрузки, однако схема может быть выполнена и без конденсатора C. В обоих случаях нагрузочным сопротивлением трансформатора является сопротивление R, так как полное сопротивление цепи записывающей головки незначительно отличается от него.

Амплитуда выходного напряжения усилителя записи равна:

$$U_{вых} = \sqrt{2} i_г R,$$

где $i_г$ — так называемая чувствительность головки записи, т. е. эффективное значение тока низкой частоты в обмотке, при котором достигается максимально допустимая намагниченность ленты.

Исходя из сопротивления нагрузки и выходного напряжения, производят расчет выходного трансформатора и выбор режима лампы так, как это обычно делают при расчете выходного каскада усилителя низкой частоты. Для

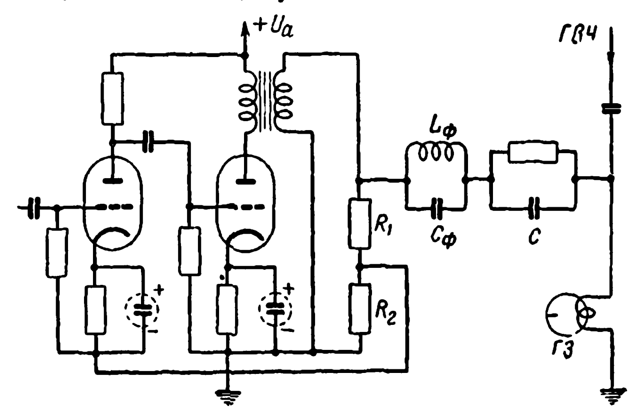


Рис. 51. Схема включения обратной связи в усилителе записи.

снижения нелинейных искажений нагрузочный коэффициент $\alpha = \frac{R'_н}{R_i}$ выбирают не менее 3. С этой же целью обратную связь по напряжению вводят в выходной или в два последних каскада усилителя.

Напряжение обратной связи снимается с делителя во вторичной обмотке (рис. 51). Сопротивления делителя R_1 и R_2 в сумме должны быть в 3—5 раз больше сопротивления нагрузки. Соотношение между сопротивлениями делителя выбирается в зависимости от того коэффициента обратной связи, который желают получить. Как видно из схемы, часть постоянной составляющей анодного тока предоконечного каскада ответвляется в головку записи, что нежелательно, так как увеличивает шум фонограммы. Для уменьшения этого недостатка схемы следует, по возможности, снижать омическое сопротивление выходной обмотки трансформатора и увеличивать сопротивление делителя.

Обратная связь в усилителе записи ослабляет нелинейные искажения, возникающие не только в лампах, но и в выходном трансформаторе. Поэтому в усилителях, рассчитанных на высокое качество записи, она весьма желательна.

Интересным вариантом схемы выходного каскада с обратной связью является схема, предложенная М. В. Цукасовым (рис. 52). В ней осуществлена 100%-я обратная связь по напряжению (все напряжение со вторичной об-

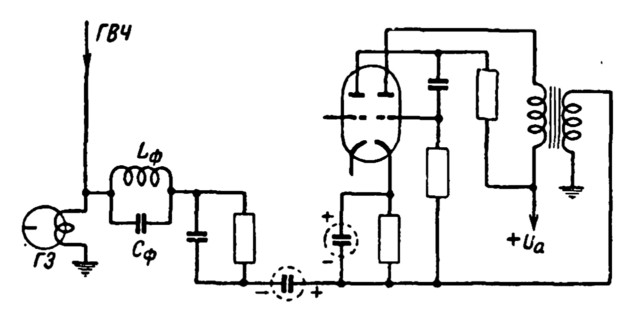


Рис. 52. Схема комбинированной обратной связи в выходном каскаде усилителя записи.

мотки выходного трансформатора вводится в противофазе в цепь катода выходной лампы) и, кроме того, обратная связь по току. Благодаря действию этой комбинированной обратной связи выходной каскад дает очень небольшие нелинейные искажения. Большим преимуществом схемы является также ее экономичность, так как она работает на триодах с малым анодным током (6Н9С, 6Н2П). Это особенно важно в тех магнитофонах, где почему-либо ограничен расход электропитания (например, при питании усилителей от батарей).

В заключение рассмотрим схему катодного повторителя, используемого в качестве выходного каскада усилителя записи (рис. 53). Благодаря отсутствию в схеме выходного трансформатора она может успешно использоваться в переносных магнитофонах.

Недостатком схемы является относительно большой коэффициент нелинейных искажений (до 1,5%) вследствие работы катодного повторителя на сравнительно небольшое сопротивление цепи головки записи, равное сопротивлению R. Схема хуже защищена от воздействия высокочастотного генератора, так как выходное сопротивление каскада получается больше, чем в схеме с трансформа-

торным выходом. Поэтому фильтр-пробку приходится делать с большим значением $Z_ф$, используя катушку на тороидном ферритовом сердечнике с малыми потерями или вовсе без сердечника.

Выбор величин $C, R, Z_ф$ и $C_ф$ был уже рассмотрен. Выбор сопротивлений $R_с$ и $R_к$, а также графоаналитический метод расчета режима работы лампы аналогичны тем, ко-

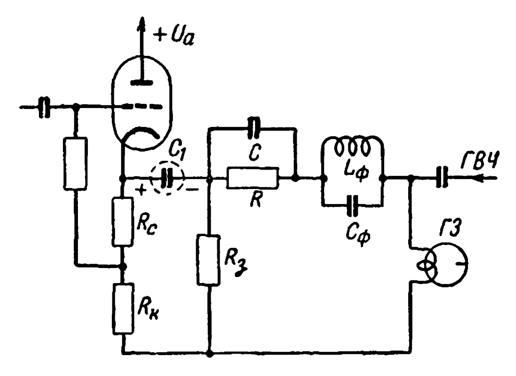


Рис. 53. Схема катодного повторителя в выходном каскаде усилителя записи.

торые были изложены применительно к схеме катодного повторителя в выходном каскаде усилителя воспроизведения (рис. 43). Конденсатор C_1 должен обладать для низких частот намного меньшим сопротивлением, чем сопротивление R, поэтому его берут достаточно большой емкости. Чтобы защитить головку записи от зарядного тока конденсатора C_1, в схеме включают сопротивление $R_з$ порядка 10 000 *ом*. Оно не отражается на величине нагрузки каскада, но достаточно для того, чтобы при включении анодного питания конденсатор C_1 зарядился раньше, чем к выходу усилителя подключится головка записи.

11. ЧАСТОТНАЯ КОРРЕКЦИЯ В УСИЛИТЕЛЕ

Если при записи различных звуковых частот оказывать одинаковое воздействие со стороны записывающей головки на магнитную ленту, то по ряду причин остаточное намагничивание последней не будет получено одинаковым. По мере повышения частоты намагничивание ленты будет ослабевать. Частотная характеристика $B_{ост} = \Theta\,(f_{записи})$,

полученная в таких условиях, имеет завал на высоких частотах. Величина завала зависит от магнитных и механических свойств ленты, скорости ее движения, ширины и качества исполнения рабочего зазора головки записи, материала сердечника и режима записи, т. е. выбора величины тока записи и подмагничивания.

Для компенсации этого завала нужно было бы иметь значительный подъем на высоких частотах в характеристике усилителя воспроизведения, что привело бы к возрастанию как высокочастотных шумов усилителя, так и шумов фонограммы. Чтобы уменьшить шумы, было бы выгодно посредством надлежащей частотной коррекции в усилителе записи усиливать воздействие записывающей головки на ленту по мере роста частоты настолько, чтобы частотная характеристика фонограммы $B_{ост} = \Theta(f_{записи})$ была горизонтальна или даже имела подъем в сторону высоких частот. Но это потребовало бы большого подъема в частотной характеристике усилителя записи и создало бы опасность перемагничивания (перемодуляции) ленты от высокочастотных составляющих записываемого сигнала. Хотя вопрос о рациональном распределении коррекции между усилителями зиписи и воспроизведения окончательно еще в принципе не решен, практически он нормирован существующими стандартами, оговаривающими характеристику канала воспроизведения, рассмотренную нами ранее, в § 6.

Поэтому выбор частотной коррекции при записи должен производиться таким образом, чтобы при воспроизведении полученной с помощью усилителя записи фонограммы через стандартный канал воспроизведения выходное напряжение на всех частотах получилось бы практически одинаковым, т. е. имело неравномерность, допускаемую стандартами или техническими условиями для данного типа магнитофонов. Для этого в усилителе записи необходимо иметь частотные характеристики, семейство которых приведено на рис. 54. Здесь показаны характеристики, соответствующие наиболее встречающимся на практике величинам скоростей, типов лент и рабочих зазоров головки записи. Подмагничивание предполагается во всех случаях выбранным таким, что оно соответствует максимальной чувствительности ленты на средних частотах.

Так как ранее было установлено, что степень воздействия головки на ленту удобнее характеризовать величиной тока головки, то частотные характеристики усилителя записи строятся как зависимость тока головки $i_г$ от ча-

стоты при постоянстве э. д. с., действующей на входе усилителя. На рис. 54 характеристики построены в логарифмических единицах, т. е. даны частотные зависимости величин:

$$20 \lg \frac{i_{\text{г}f}}{i_{\text{г}1\,000}},$$

где $i_{\text{г}f}$ — ток головки на частоте f;

$i_{\text{г}\,1\,000}$ — ток на частоте 1 000 *гц*.

Из рис. 54 видно, что частотная коррекция в усилителе записи заключается в подъеме высоких частот. Приведенные характеристики отличаются друг от друга лишь частотой максимального подъема (равной верхней рабочей частоте) и величиной этого подъема.

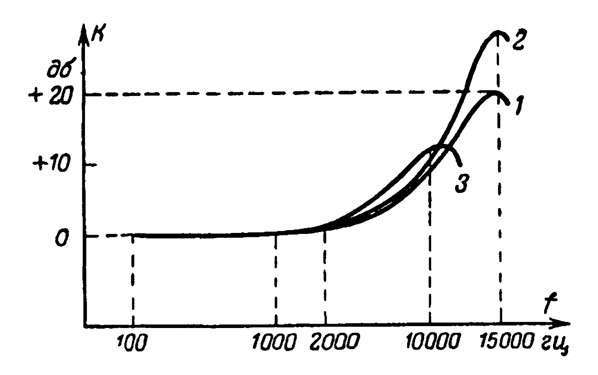


Рис. 54. Частотная характеристика усилителя записи для ряда практически встречающихся случаев.

1 — скорость 762 *мм/сек*, лента типа 1, зазор головки 20 *мк*; *2* — скорость 381 *мм/сек*, лента типа 2, зазор головки 10 *мк*; *3* — скорость 190 *мм/сек*, лента типа 2, зазор головки 7 *мк*.

Рассмотрим ряд схем, обеспечивающих в усилителе записи получение требуемой характеристики.

На рис. 55 показана схема с коррекцией на входе усилителя. Схема пригодна для усилителей записи, работающих с линии и имеющих на входе понижающий трансформатор *Тр*, так как в этом случае необходимо, чтобы пересчитанное сопротивление источника входного сигнала R_l/n^2 было намного меньше суммы сопротивлений $R_к + R_с$,

При этом условии на низких и средних частотах напряжение на сетке лампы будет:

$$U_{c0}=\frac{U_{вх}}{n}\cdot\frac{R_c}{R_к+R_c},$$

а на резонансной частоте контура $L_кC_к$ и при максимальной коррекции (крайнее левое положение регулятора коррекции)

$$U_{с.в}=\frac{U_{вх}}{n},$$

что соответствует подъему частотной характеристики

$$M=\frac{U_{с.в}}{U_{c0}}=\frac{R_к+R_c}{R_c}.$$

Так как обычно выбирают $R_к \gg R_c$, то

$$M\cong\frac{R_к}{R_c}. \qquad (33)$$

Последнее выражение позволяет выбрать величины $R_к$ и R_c по заданному подъему частотной характеристики усилителя записи. Плавная регулировка коррекции в этой схеме достигается перемещением ползунка потенциометра $R_к$. При

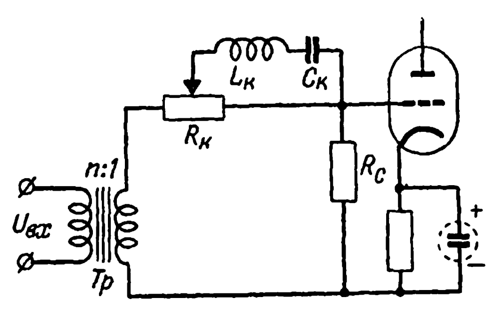


Рис. 55. Схема частотной коррекции на входе усилителя записи.

этом контур коррекции шунтирует бóльшую или меньшую его часть и оказывает соответственно бóльшее или меньшее влияние на ход частотной характеристики. Нужная форма характеристики (крутизна ее нарастания) может быть практически подобрана за счет различных соотношений $L_к$ и $C_к$

при сохранении настройки контура на верхнюю рабочую частоту. Так, например, при меньшей индуктивности контура подъем характеристики начнется с более низких частот и будет более плавным, чем при большей индуктивности.

Тот же принцип получения частотной коррекции может осуществляться не на входе, а на выходе усилителя запи-

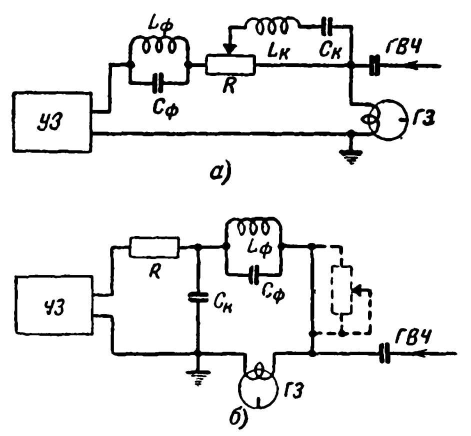


Рис 56. Схемы частотной коррекции на выходе усилителя записи.

си. Схема, соответствующая этому варианту, показана на рис. 56,*а*. Действие ее схоже с изложенным для схемы рис. 55 и поэтому не нуждается в дополнительных пояснениях. Рассчитаем величину максимального подъема частотной характеристики, который может быть получен при этой схеме на резонасной частоте контура коррекции $\omega_р$. Предположим, что выходное напряжение усилителя мало изменяется с частотой. Тогда ток головки на низких и средних частотах:

$$I_0 = \frac{U_{вых}}{R},$$

а на частоте резонанса, когда сопротивление контура весьма мало:

$$I_в = \frac{U_{вых}}{\omega_в (L_г + L_ф)}.$$

Отсюда

$$M = \frac{I_в}{I_0} = \frac{R}{\omega_в (L_г + L_ф)}. \quad (34)$$

Как видно из этой формулы, величина коррекции пропорциональна сопротивлению R. Поэтому ее приходится выбирать больше, чем это необходимо по формуле (23) для стабилизации нагрузки усилителя записи. Получить коррекцию в этой схеме более 15—18 *дб* практически не удается, так как для этого нужно слишком большое сопротивление R (порядка 8—10 *ком*) и выходное напряжение около 20 *в*. При этих условиях трудно обеспечить малые нелинейные искажения в выходном каскаде.

В рассматриваемой схеме, так же как и в схеме, приведенной на рис. 55, часто бывает полезно для получения нужной формы характеристики настраивать контур коррекции не на верхнюю рабочую частоту, а на несколько более высокую. Необходимость в этом устанавливается экспериментально.

В обеих схемах (рис. 55 и 56,*а*) контур коррекции может быть заменен одним конденсатором. Однако максимальный подъем, который может быть достигнут при сохранении благоприятной формы характеристики, не превышает в этом случае 3—5 *дб* (под благоприятной формой характеристики понимают такую, которая соответствует характеристикам, приведенным на рис. 54; крутизна характеристики должна непрерывно нарастать).

Другая схема частотной коррекции в выходной цепи усилителя записи приведена на рис. 56,*б*. Индуктивность головки записи $L_г$ и катушки фильтра-пробки $L_ф$ в сочетании с емкостью конденсатора $C_к$ образуют в этой схеме параллельный колебательный контур, настраиваемый на верхнюю рабочую частоту $\omega_в$. За счет резонанса токов на этой частоте достигается подъем частотной характеристики усилителя, равный:

$$M = \frac{\omega_р(L_г + L_ф)}{r + \frac{\omega_в^2 (L_г + L_ф)^2}{R}}, \qquad (35)$$

где R, $L_г$ и $L_ф$ — данные схемы;

r — активное сопротивление катушки фильтра и записывающей головки.

Для регулирования подъема частотной характеристики в этой схеме последовательно с головкой включают небольшое переменное сопротивление (показано на схеме пунктиром), которое не изменяя практически тока подмаг-

ничивания, изменяет величину M, так как входит в сопротивление r в формуле (35).

Недостатком всех схем с коррекцией в выходной цепи является зависимость величины коррекции от индуктивности и сопротивления потерь записывающей головки. Поэтому при смене последней приходится производить подстройку схемы.

Переходим к схемам, осуществляющим коррекцию во внутренней части усилителя записи. Наиболее распространенными из них являются схемы с частотнозависимой

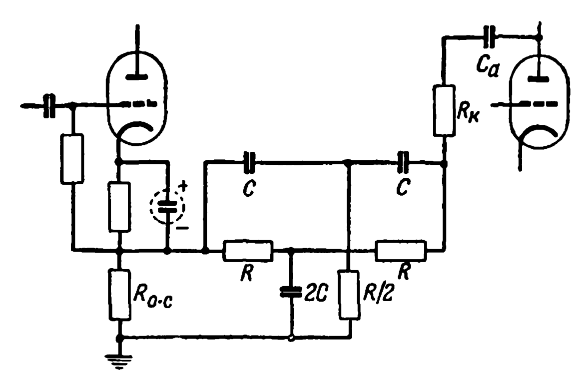


Рис. 57. Схема коррекции в усилителе записи с двойным Т-образным мостом в цепи обратной связи.

обратной связью. В схеме на рис. 57 ослабление обратной связи в сторону высоких частот достигается за счет действия двойного Т-образного RC-моста, включенного в цепь обратной связи, охватывающей выходной и предоконечный каскады усилителя записи.

Как видно из рис. 57, этот мост состоит из двух T-образных ячеек, соединенных параллельно как со стороны входа, так и со стороны выхода. Одна ячейка типа RCR создает на сопротивлении обратной связи $R_{о.с}$ напряжение, уменьшающееся с частотой и отстающее по фазе относительно анодного напряжения выходного каскада. Вторая ячейка типа CRC противоположна по своему действию первой. Передаваемое через нее напряжение обратной связи опережает по фазе анодное напряжение и растет по мере увеличения частоты.

При том соотношении между величинами отдельных деталей моста, которое показано на схеме, на частоте $\omega_p = 1/RC$

возникает уравновешивание действия обеих ячеек. На этой частоте результирующее напряжение обратной связи минимально, а его фаза совпадает с фазой анодного напряжения выходного каскада. Соответственно на этой частоте усиление получается наибольшим. Регулировка частотной характеристики может производиться или изменением величины сопротивления $R_к$, или путем расстройки моста, для чего сопротивление $R/2$ делают обычно переменным.

Двойной Т-образный мост эквивалентен по своему действию колебательному контуру весьма большой добротно-

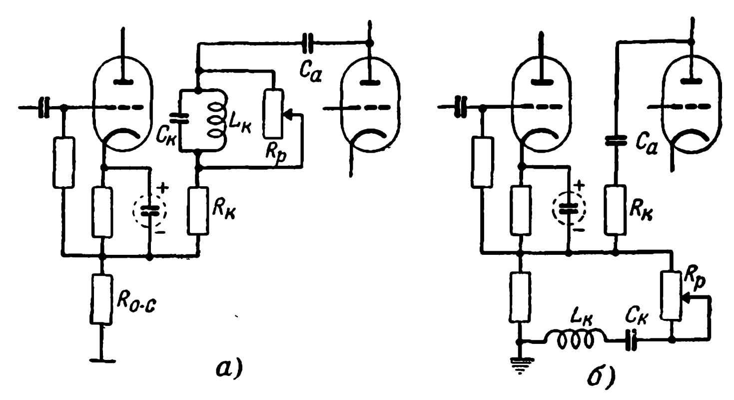


Рис. 58. Схемы коррекции в усилителе записи с параллельным (*а*) и последовательным (*б*) контуром в цепи обратной связи.

сти, но в отличие от него конструктивно проще, так как не требует катушки индуктивности. Недостатком схемы является то, что на всех частотах, кроме $\omega_р$, мост поворачивает фазу напряжения обратной связи, и за пределами рабочего диапазона она может перейти в положительную и возбудить усилитель. Поэтому схему не следует применять для получения коррекции, большей чем +12—+15 *дб*.

Более устойчивой является схема с колебательным контуром в цепи обратной связи. Два варианта ее показаны на рис. 58.

Как и в предыдущей схеме, обратная связь охватывает здесь два последних каскада усилителя записи. За счет действия контура $L_кC_к$, настроенного на верхнюю рабочую частоту, обратная связь ослабляется по мере приближения к этой частоте, а усиление возрастает. Получение необхо-

димой формы частотной характеристики усилителя достигается подбором соотношения между $L_к$ и $C_к$, а также сопротивления $R_к$, которое изменяет глубину обратной связи. Оперативная регулировка коррекции в обеих схемах производится переменными сопротивлениями $R_р$, подключенными к контуру. Емкость разделительного конденсатора $C_а$ должна быть достаточно большой, чтобы не создавать подъема характеристики на низких частотах.

Схемы усилителей записи с частотной коррекцией в цепи обратной связи нашли широкое применение не только потому, что позволяют несложно получить все требующиеся на практике формы частотных характеристик, но и потому, что одновременно они уменьшают из-за обратной связи нелинейные искажения.

Что же касается сопутствующего этим схемам увеличения шума усилителя из-за положительной обратной связи по пульсациям анодного напряжения, то, как уже указывалось, в усилителях записи этот вопрос стоит не так остро, как в усилителях воспроизведения, и не может поэтому рассматриваться как недостаток схем.

В заключение укажем, что в усилителях записи может использоваться и схема коррекции с колебательным контуром в анодной цепи лампы, аналогичная схеме, приведенной применительно к усилителю воспроизведения на рис. 30, с той лишь разницей, что подъема низких частот здесь не требуется и поэтому элементы $C_к$ и R из схемы исключаются.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

12. КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

В гл. 1 мы рассмотрели несколько скелетных схем магнитофонов, содержащих в своем составе универсальные усилители. Эти схемы были приведены на рис. 3, 5 и 6. Из них можно заключить, что роль универсальных усилителей, а соответственно и требования, предъявляемые к ним, не остаются постоянными, а меняются в зависимости от скелетной схемы. При этом возможны три варианта:

1. Универсальный усилитель, работающий при воспроизведении непосредственно от воспроизводящей головки, а при записи — от источника низкой частоты и нагружен-

ный при воспроизведении на громкоговоритель (или его эквивалент), а при записи, кроме того, и на цепь записывающей головки. В таком усилителе при переходе с записи на воспроизведение частотная характеристика должна изменяться за счет изменения схемы коррекции внутри самого усилителя.

2. Универсальный усилитель, отличающийся от первого тем, что при записи необходимая частотная характеристика достигается не из-за коррекции в схеме усилителя, а благодаря подключению записывающей головки к выходу усилителя через частотный корректор.

3. Универсальный усилитель, имеющий все особенности, указанные во втором варианте, но отличающийся еще и тем, что при воспроизведении он получает входное напряжение не от головки, а с выхода отдельного усилителя воспроизведения. При этом понятно, что никакой частотной коррекции в универсальном усилителе ни при записи, ни при воспроизведении не требуется.

Из этих трех вариантов универсального усилителя интерес представляют первый и второй варианты, так как в третьем варианте сам усилитель является обычным усилителем низкой частоты, а частотный корректор не отличается от того, который применяется во втором варианте. Поэтому третий вариант нами рассматриваться не будет.

13. ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ УСИЛИТЕЛЯ

Начнем рассмотрение первого варианта универсального усилителя с вопроса о выборе его выходной мощности и чувствительности. В режиме воспроизведения усилитель должен развивать мощность, достаточную для нормальной работы находящегося в магнитофоне громкоговорителя. Обычно максимальная мощность устанавливается от 1 до 3 *вт*. В режиме записи мощность может считаться неизменной, так как громкоговоритель или остается включенным, или заменяется своим эквивалентом, а потребление энергии цепью головки записи ничтожно по сравнению с указанными выше цифрами. Таким образом, выходная мощность определяется работой универсального усилителя в условиях воспроизведения.

Чувствительностью усилителя называется входное напряжение, при котором достигается его максимальная выходная мощность при условии, что регулятор усиления находится в положении, соответствующем максимальному усилению. Поскольку выходная мощность универсального

усилителя одинакова и в режиме записи, и в режиме воспроизведения, чувствительность его должна выбираться по минимальному входному напряжению, получаемому усилителем в этих рабочих режимах. При записи из всех используемых источников низкой частоты наименьшее напряжение развивает микрофон. Обычно для упрощения схемы универсального усилителя, чтобы не иметь в нем входного микрофонного трансформатора, применяют высокоомные микрофоны, т. е. те, внутри которых имеется повышающий трансформатор. Такие микрофоны (например МД-41) развивают э. д. с. порядка 3—4 *мв*. При воспроизведении на вход усилителя, на низшей рабочей частоте подается э. д. с. от воспроизводящей головки, порядка 0,5 *мв*, т. е. во много раз меньше, чем при записи. Это еще усугубляется тем, что обычно при воспроизведении в схеме универсального усилителя начинает действовать регулятор тембра, снижающий коэффициент усиления по сравнению с усилением при записи. Таким образом, чувствительность универсального усилителя должна выбираться также исходя из условий работы его в режиме воспроизведения.

Следующий важный вопрос — тип и количество магнитных головок, совместно с которыми работает усилитель, а также способ подключения их к его схеме. Практически используются либо одна универсальная головка, работающая то как воспроизводящая, то как записывающая, либо две головки, из которых одна записывающая, а другая высокоомная воспроизводящая. Низкоомная воспроизводящая головка, как правило, в магнитофонах с универсальным усилителем не встречается, так как это простые и недорогие магнитофоны, а при низкоомной головке необходим сложный входной трансформатор.

Преимуществом использования одной универсальной головки являются несколько меньшая стоимость магнитофона и сокращение габаритов лентопротяжного механизма, а также некоторое упрощение настройки магнитофона, так как в этом случае не надо устанавливать рабочие зазоры головок записи и воспроизведения параллельно друг другу, установку положения универсальной головки достаточно производить только в режиме воспроизведения, по контрольной ленте (строго говоря, что не совсем точно, но практически приемлемо).

Во всем остальном все преимущества на стороне варианта с раздельными головками записи и воспроизведения. Действительно, универсальная головка (как и всякое уни-

версальное устройство) не может одинаково хорошо работать и как записывающая, и как воспроизводящая, так как противоречивые требования, предъявляемые к головке в этих двух случаях, должны решаться компромиссно. Для воспроизводящей необходима обмотка с возможно бо́льшим числом витков, а в заднем стыке обеих половин ее сердечника не должно быть зазора. Только при этих условиях чувствительность головки будет достаточной. Для записывающей же головки, наоборот, необходим задний зазор (чтобы уменьшать остаточное намагничивание сердечника в процессе записи) и желательна обмотка с умеренным числом витков. При большом количестве витков индуктивность записывающей головки становится большой, и для подмагничивания ленты необходимо подавать на головку очень большое напряжение от генератора высокой частоты, что усложняет конструкцию контура генератора.

В универсальной головке эти противоречивые требования решаются тем, что число витков выбирают так, чтобы индуктивность головки была порядка 1 *гн,* а в ее сердечнике делают задний зазор.

Чувствительность универсальной головки при воспроизведении ниже, чем высокоомной воспроизводящей, следовательно, потребуется большее усиление и будет хуже перекрытие шумов усилителя. Напряжение подмагничивания универсальной головки больше, чем у записывающей, поэтому генератор высокой частоты при ней сложнее.

В универсальном усилителе с разными головками намного упрощается коммутация при переходе с записи на воспроизведение. Используя известное нам обстоятельство, что в режиме воспроизведения чувствительность усилителя должна быть намного выше, чем при записи, можно воспроизводящую головку закрепить за входом первого каскада усилителя, а источники низкой частоты при записи подключать ко второму каскаду, отключая его при этом от первого. Тогда вся коммутация переносится в сеточную цепь лампы второго каскада, где полезный сигнал больше и где не так опасно действие помех на цепи коммутации (пластины и контакты переключателя или реле).

В случае применения одной универсальной головки приходится прибегать к специальным приемам борьбы с самовозбуждением через коммутационные цепи. Для пояснения этого рассмотрим скелетную схему коммутации, показанную на рис. 59,*а*. Практически эта схема работать не может, так как к переключателю $П_2$ постоянно подведены вход

и выход универсального усилителя и через неизбежно существующую в нем межконтактную емкость возникает обратная связь, что приводит к самовозбуждению усилителя. В схеме на рис. 59,*б* эта обратная связь ослабляется из-за последовательного включения межконтактных емкостей обоих переключателей $П_1$ и $П_2$, но ослабляется все же не-

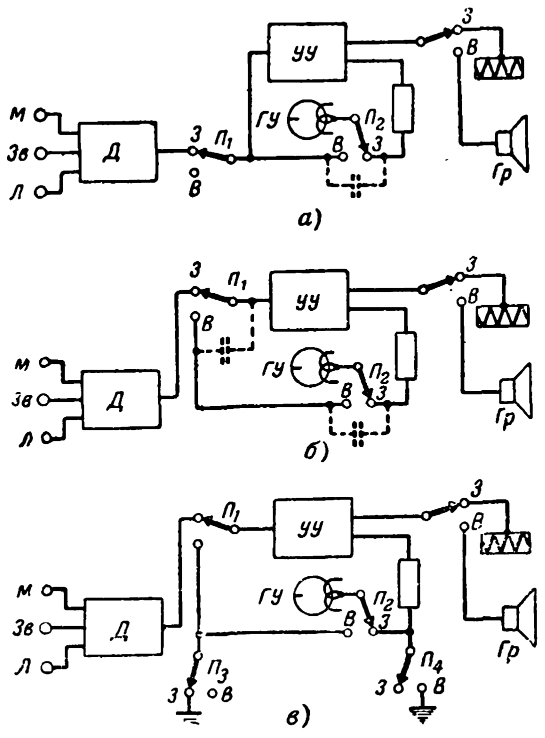


Рис. 59. Три варианта схемы коммутации универсального усилителя.

З — запись; *В* — воспроизведение.

достаточно. Поэтому приходится схему коммутации еще усложнять, вводя дополнительные контактные пары $П_3$ и $П_4$ (рис. 59,*в*), заземляющие те коммутационные цепи, которые при данном режиме работы не используются, но могут служить каналом для паразитной обратной связи.

Сравнение вариантов с одной и двумя головками приводит к выводу о большей целесообразности использования раздельных головок записи и воспроизведения, если только установка двух головок допускается конструкцией ленто-

протяжного механизма и, кроме того, к стоимости магнитофона не предъявляются очень жесткие требования.

При воспроизведении универсальная (или воспроизводящая) головка во всех случаях подключается ко входу первого каскада универсального усилителя. Что же касается режима записи, то встречаются схемы с подключением головки как к аноду лампы выходного, так и к аноду лампы предоконечного каскадов. Последнее предпочтительней, так как нелинейные искажения после предоконечного каскада меньше, чем после выходного, и запись поэтому получается более качественной. Однако такое подключение можно использовать лишь в тех случаях, когда полезное напряжение на аноде лампы предоконечного каскада не менее 30 *в* и в каскаде применена лампа с небольшим внутренним сопротивлением, допускающая подключение цепи магнитной головки. В остальных случаях головка подсоединяется к аноду лампы выходного каскада. Для того чтобы обеспечить качественный громкоговорящий контроль при записи, не следует во время нее снижать выходную мощность, хотя это и позволило бы уменьшить нелинейные искажения. Выходная мощность при записи остается примерно та же, что и при воспроизведении.

Головка записи подключается к аноду лампы через разделительный конденсатор и стабилизирующее сопротивление R, величина которого определяется по формуле

$$R = \frac{U_{a\sim}}{\sqrt{2} i_г}, \qquad (36)$$

где $U_{a\sim}$ — максимальная амплитуда переменного напряжения на аноде лампы;

$i_г$ — чувствительность головки записи.

Чтобы не нарушить режим работы лампы, сопротивление R должно быть в 4—5 раз больше основного нагрузочного сопротивления, что соответствует выполнению следующего условия:

$$i_г U_{a\sim} \leqslant \frac{P_{вых}}{2\sqrt{2}}, \qquad (37)$$

где $P_{вых}$ — максимальная полезная мощность, развиваемая в анодной нагрузке той лампы, к которой предполагают подключить цепь головки записи.

Уравнение (37) позволяет решить вопрос о возможности подключения данной головки $i_г$ к анодной цепи лампы того

или иного каскада, а уравнение (36) дает возможность рассчитать величину ограничительного сопротивления. Так как обычно это сопротивление получается весьма большим (порядка десятков килоом), то в универсальном усилителе не применяют фильтр-пробку. При параллельной схеме смешения токов звуковой частоты и подмагничивания сопротивление R само создает достаточную защиту усилителя от высокой частоты (рис. 60).

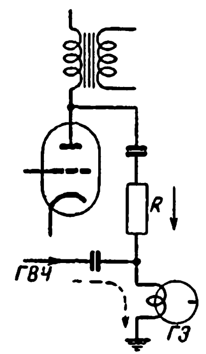


Рис. 60. Параллельная схема смешения токов звуковой частоты и подмагничивания в универсальном усилителе.

Переходим к вопросу о качественных показателях универсального усилителя, т. е. о допустимых в нем собственных шумах и нелинейных искажениях и о требуемой частотной характеристике.

Универсальный усилитель как объединяющий в себе функции усилителей записи и воспроизведения должен, очевидно, в отношении качественных показателей удовлетворять требованиям, предъявляемым к ним обеим. В определении допустимого отношения сигнал/шум более трудными для выполнения являются требования, предъявляемые к усилителям воспроизведения, поэтому их и следует принять для универсальных усилителей. Все сказанное по этому поводу в гл. 2 для усилителей воспроизведения справедливо и для универсального усилителя. Что касается нелинейных искажений, то они, к сожалению, не могут быть получены столь малыми, как это требуется для усилителей записи и воспроизведения из-за значительно большей выходной мощности универсального усилителя. С этим приходится мириться, допуская при максимальной выходной мощности коэффициент нелинейных искажений универсального усилителя не более 2—2,5%. Меры по снижению нелинейных искажений являются обычными для усилителей низкой частоты и состоят в правильном выборе режима ламп и применении отрицательной обратной связи.

Частотная характеристика универсального усилителя при записи должна быть такой, какая требуется для усилителя записи, а при воспроизведении должна соответствовать характеристике усилителя воспроизведения. Если при воспроизведении в схему включается регулятор тембра, то необходимая для нормального воспроизведения характери-

стика должна получаться при некотором среднем положении регулятора. Изменение частотной характеристики усилителя осуществляется изменением схемы коррекции путем перехода с одной из тех схем, которые были рассмотрены нами применительно для усилителей воспроизведения, на одну из тех схем, которые применяются в усилителе записи. Такой переход производится с помощью многоконтактного переключателя вида работ, который может иметь два или

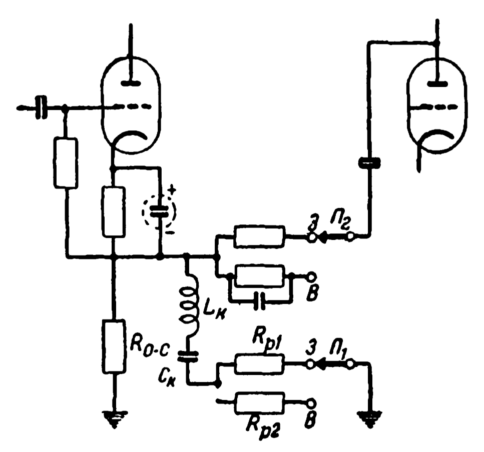


Рис. 61. Схема коррекции в первом варианте универсального усилителя.
З — запись; *В* — воспроизведение.

больше положений (например, «запись — воспроизведение» или «запись с микрофона, звукоснимателя, линии — воспроизведение»).

Комбинируя различные схемы коррекции усилителей записи со схемами коррекции в усилителях воспроизведения, можно построить большое число схем, пригодных для универсального усилителя. Не рассматривая здесь всех схем, укажем лишь, что наиболее экономичным (по числу необходимых деталей и количеству переключений) является сочетание схем коррекции усилителей воспроизведения и записи, использующих частотнозависимую обратную связь.

Одна из таких схем показана на рис. 61, где приведены два каскада универсального усилителя (обычно второй и третий каскады). Переключение схем коррекции осуществляется здесь переключателями $П_1$ и $П_2$, расположенными на одной оси. Как видно, при записи образуется схема кор-

рекции для усилителя записи, рассмотренная нами ранее на рис. 58,*б*, а при воспроизведении — схема, представляющая собой комбинацию двух схем, приведенных на рис. 32, *б* и *в* для усилителя воспроизведения. Для раздельной регулировки подъема высоких частот при записи и при воспроизведении служат два сопротивления ($R_{р_1}$ и $R_{р_2}$).

14. ВТОРОЙ ВАРИАНТ УСИЛИТЕЛЯ

Как уже говорилось в начале главы, основное отличие второго варианта универсального усилителя от первого состоит в том, что необходимая частотная характеристика записи формируется не в самом усилителе, а в частотном корректоре, включенном между выходом усилителя и головкой записи. Частотная характеристика универсального

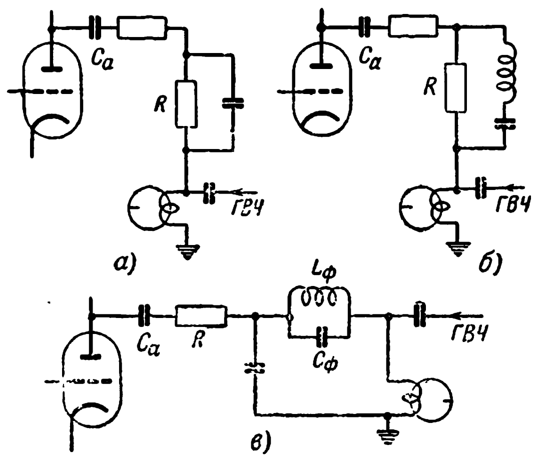


Рис. 62. Три варианта схем частотных корректоров.

усилителя при воспроизведении должна соответствовать характеристике усилителя воспроизведения, а при записи должна быть возможно ближе к горизонтальной прямой.

В первую очередь мы рассмотрим специфичные для данного варианта схемы частотных корректоров, наиболее распространенные из которых приведены на рис. 62. При этом нетрудно заметить, что они сходны со схемами частотной коррекции в выходных цепях усилителя записи. Так, например, схема на рис. 62,*б* аналогична схеме на рис. 56,*а*, а схема на рис. 62,*в* — схеме на рис. 56,*б*. Эти схемы были

уже нами разобраны, поэтому мы не будем подробно рассматривать принцип их действия.

В отличие от аналогичных схем усилителя записи частотные корректоры имеют значительно бо́льшее стабилизирующее сопротивление R, так как напряжение на выходе универсального усилителя больше, чем на выходе усилителя записи. Это позволяет в приведенных схемах (кроме схемы на рис. 62,*в*) обойтись без фильтра-пробки.

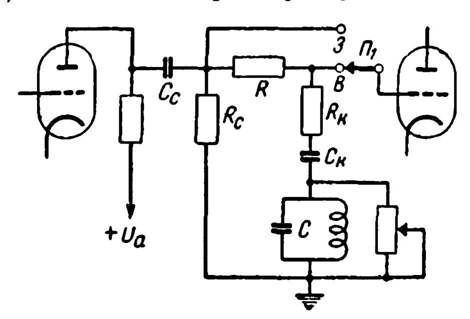


Рис. 63. Схема коррекции во втором варианте универсального усилителя.
З — запись; *В* — воспроизведение.

Схема на рис. 62,*а* позволяет получить подъем характеристики на верхней рабочей частоте не более 6—8 *дб* (при дальнейшем увеличении коррекции форма характеристики становится неблагоприятной). Схема на рис. 62,*б* обладает наибольшими возможностями коррекции; она может применяться при любых скоростях ленты. Свойства схемы на рис. 62,*в* аналогичны свойствам схемы на рис. 56,*б*.

Поскольку во втором варианте универсального усилителя частотная коррекция в самом усилителе необходима только при воспроизведении, она может быть выполнена по тем схемам, которые были нами рассмотрены для усилителей воспроизведения. При переходе на запись корректирующие элементы должны выключаться.

На рис. 63 в качестве примера показана одна из возможных схем. Она аналогична схеме коррекции в усилителе воспроизведения, приведенной ранее на рис. 27. При переводе переключателя $П_1$ в положение «Запись» сигнал на сетку лампы второго каскада поступает, минуя цепи коррекции.

Все остальные показатели, влияющие на выбор схемы универсального усилителя (входная мощность и чувстви-

тельность усилителя, допустимые величины отношения сигнал/шум, коэффициент нелинейных искажений), во втором варианте не отличаются от первого, и все сказанное по этому вопросу в отношении первого варианта остается в силе и для второго.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ГЕНЕРАТОРЫ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

15. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ

Генераторы высокой частоты магнитофонов строятся по схемам, принципиально известным в радиотехнике, но они имеют ряд специфических особенностей, отличающих их, например, от генераторов в измерительной аппаратуре или в радиопередатчиках. Здесь мы остановимся на этих особенностях, а также на требованиях, которые предъявляются к таким генераторам.

Генераторы высокой частоты в магнитофонах предназначены для стирания и подмагничивания ленты во время записи. В более простых и дешевых магнитофонах и то и другое производится от одного общего генератора с частотой порядка 60 *кгц*. В аппаратах, предназначенных только для записи речи (например, в диктофонах), эта частота можета быть понижена до 25—30 *кгц*, что, как мы увидим далее, позволяет уменьшить полезную мощность генератора.

В стационарных магнитофонах, рассчитанных на высокое качество записи, частоту подмагничивания желательно брать больше (порядка 120—180 *кгц*), так как это снижает шум фонограммы и ослабляет комбинационные тона при записи высоких звуковых частот. Делать общий генератор на такую частоту нельзя, так как нагрев сердечника головки стирания возрастает настолько, что лента будет плавиться. Кроме того, мощность генератора должна быть при этом очень большой.

В подобных случаях прибегают к двум раздельным генераторам: одному с частотой $f_с$ =50—60 *кгц* (для стирания) и второму с частотой $f_п$ =170—180 *кгц* (для подмагничивания).

Во избежание биений между колебаниями обоих генераторов и их гармониками и записи разностного тока на лен-

ту необходимо, чтобы частоты $f_с$ и $f_п$ удовлетворяли следующему условию:

$$f_п \geqslant 3f_с + 20, \quad (38)$$

где $f_п$ и $f_с$ — частоты, *кгц*.

Другой способ состоит в том, что для подмагничивания используется вторая гармоника генератора стирания, и тогда отдельного генератора подмагничивания не делают. Соответствующая этому схема будет рассмотрена ниже.

Большинство генераторов в магнитофонах строится по схемам с самовозбуждением. Схемы с независимым возбуждением в настоящее время встречаются очень редко. Это объясняется главным образом тем, что жесткие требования к стабильности частоты генератора здесь не нужны. Так, например, для магнитофонов вполне достаточна стабильность частоты порядка ±5%.

Полезная мощность, которую должен отдавать генератор, зависит от частоты колебаний и типа головки стирания. Например, при типовой головке С-О2 с пермаллоевым сердечником шириной 7 *мм* и частоте стирания 60 *кгц* мощность, потребляемая головкой, приблизительно равна 3 *вт*. Мощность же подмагничивания меньше и при той же частоте составляет примерно 0,1 *вт*. При другой частоте потребляемая мощность изменяется приблизительно пропорционально квадрату частоты. Отсюда понятно, насколько невыгодно повышать частоту стирания. Мощность, потребляемая головкой при прочих равных условиях, пропорциональна ширине сердечника, поэтому стирающие головки, используемые при записи более узких фонограмм, потребляют пропорционально меньшую мощность.

Весьма жесткие требования к генератору предъявляются в отношении симметричности формы колебаний. Возбуждаемые в генераторе высокочастотные колебания могут быть не синусоидальными (например, иметь форму прямоугольных импульсов), но должны быть обязательно симметричными. Особенно это относится к отдельному генератору подмагничивания и общему генератору, так как асимметрия в подмагничивании даже порядка 1% увеличивает шум фонограммы на 4 *дб*. Поскольку асимметрия формы создается только четными гармониками основного колебания, то отсюда вытекает требование к генератору — отсутствие четных гармоник на его выходе.

Излучение энергии генератора во внешнее пространство и в сеть переменного тока должно быть сведено к миниму-

му, так как иначе будет иметь место мешающее воздействие магнитофона на расположенные вблизи радиоприемники. Следует также ослаблять воздействие генератора внутри самого магнитофона на усилитель.

16. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ

По принципиальным схемам генераторы высокой частоты магнитофонов можно разделить на однотактные и двухтактные. Однотактные генераторы используются главным образом в диктофонах и в наиболее дешевых моделях магнитофонов. Получить симметричную форму колебаний в них трудно. Двухтактные генераторы не создают четных гармоник, а следовательно, и не вызывают асимметрии в возбуждаемых колебаниях. Поэтому они наиболее распространены.

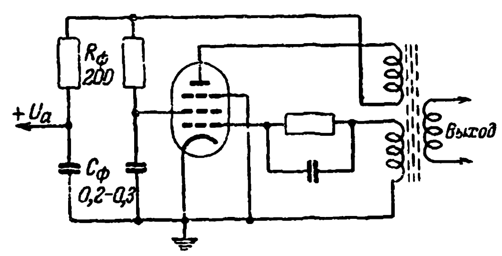


Рис. 64. Схема однотактного генератора.

На рис. 64 приведена схема однотактного генератора. Она может быть построена на пентоде 6П6С или на половине двойного триода 6Н8С, а также 6Н1П. В последнем случае из-за малой допустимой мощности рассеивания на аноде колебательная мощность генератора получается небольшой, что приводит к недостаточно хорошему стиранию ленты во время записи. Впрочем, как уже говорилось, эта схема используется в аппаратах, не рассчитанных на высокое качество записи.

Однотактная схема широко известна, и поэтому не нуждается в дополнительных пояснениях. Отметим лишь, что анодный фильтр $R_ф C_ф$, устанавливаемый в непосредственной близости от остальных деталей схемы генератора, предназначен для предотвращения попадания тока высокой частоты в источник анодного питания магнитофона.

На рис. 65,*а* показана схема двухтактного генератора с индуктивной связью. Характерным для этой схемы являет-

ся наличие в катоде лампы сопротивления обратной связи по току $R_к$. Благодаря ему в значительной степени уменьшается асимметрия, возникающая из-за неизбежного различия половин схемы. В отношении второй гармоники обратная связь через сопротивление $R_к$ оказывается отрицательной для того триода, где она сильнее, и положительной для триода с более слабо выраженной второй гармоникой. В результате происходит автоматическое выравнивание по-

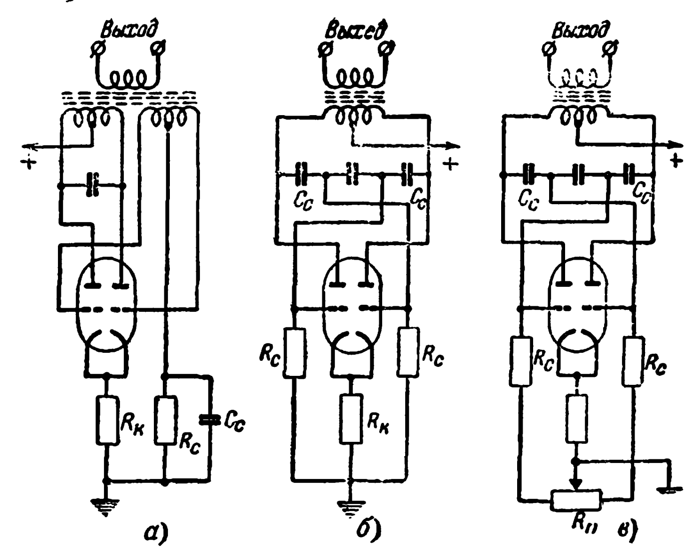


Рис. 65. Схемы двухтактных генераторов.
а — с индуктивной связью; *б* — с емкостной связью; *в* — с емкостной связью и регулировкой симметрии.

ловин схемы, чем и достигается очень высокая симметрия формы высокочастотных колебаний на выходе. Так как в общей цепи питания двухтактного генератора практически нет первой гармоники анодных токов, колебательная мощность при включении сопротивления $R_к$ уменьшается незначительно (только за счет снижения анодного напряжения на величину падения напряжения на катодном сопротивлении).

Следующая схема (рис. 65,*б*) представляет собой также двухтактный генератор, но с емкостной связью. Преимущество такой схемы заключается в отсутствии обмотки обратной связи и, следовательно, меньших габаритах высокочастотного контура. Это упрощает конструкцию контура. Кро-

ме того, чем меньше габариты, тем меньше наводки на контур со стороны источников фона в магнитофоне (силовой трансформатор, электродвигатель) и меньше опасность попадания этим путем фона в головку записи и стирания. Недостатком схемы является несколько бо́льшая асимметрия формы высокочастотных колебаний из-за невозможности практически точно подобрать одинаковые емкости конденсаторов связи.

В схеме на рис. 65,*в* этот недостаток устранен благодаря введению регулятора симметрии $R_п$. Перемещая ползунок регулятора, можно изменять в некоторых пределах сеточное смещение: при увеличении напряжения смещения на одном триоде смещение на втором уменьшается. Наилучшее положение ползунка регулятора устанавливается по наименьшему шуму фонограммы в паузе записи.

Эта схема может дать очень хорошие результаты в отношении симметричности колебаний, однако работает она не очень устойчиво и нуждается в подстройке. Объясняется это тем, что данная схема относится к числу схем компенсационного типа, в которых нежелательный эффект (в данном случае асимметрия половин схемы) не устраняется, а компенсируется искусственно создаваемым эффектом того же характера, но с обратным знаком. При этом всякое изменение питающего напряжения может нарушить баланс схемы и вызывает необходимость ее подстройки.

Известна схема, в которой для устранения асимметрии подмагничивания в обмотку записывающей головки посылается постоянный ток небольшой величины. Направление этого тока выбирается противоположным направлению асимметрии. Однако и эта схема является компенсационной и ей присущи указанные выше недостатки. Поэтому применять схемы с регулировкой симметрии компенсационным методом можно главным образом в лабораторных установках, например при испытании лент, когда подстройка генератора не вызывает особых неудобств.

На рис. 66,*а* изображена схема двухтактного генератора с автотрансформаторной связью. Она сочетает в себе преимущества схем, показанных на рис. 65, *а* и *б*, так как в ней не требуется отдельной обмотки обратной связи, а напряжение возбуждения на сетках лампы может быть установлено более точно, чем при емкостной связи, потому что оно определяется лишь местом подключения отвода к контурной катушке.

Главной особенностью этой схемы (уже не связанной

с выбором способа подачи обратной связи) является использование второй гармоники анодного тока для получения более высокой частоты подмагничивания. Основная частота генератора 55—65 *кгц* используется для стирания ленты. В цепь катодов лампы включено сопротивление $R_р$ порядка нескольких тысяч ом. Переменное напряжение на этом сопротивлении содержит в основном вторую гармони-

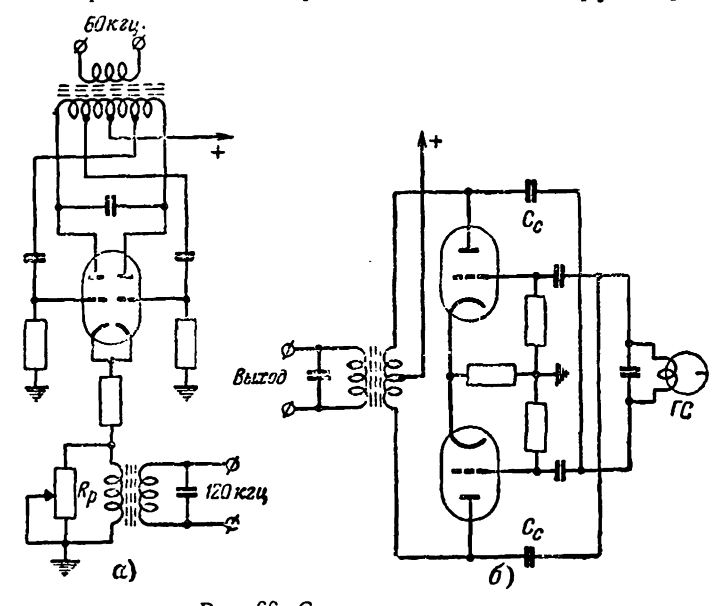


Рис. 66. Схемы генераторов.

а — с автотрансформаторной связью; *б* — с использованием головки стирания в качестве индуктивности контура.

ку, которая отфильтровывается с помощью резонансного трансформатора. Получаемое на выходе трансформатора напряжение с частотой 110—130 *кгц* используется для подмагничивания ленты. Изменяя величину сопротивления $R_р$, можно регулировать напряжение подмагничивания.

Вариантом схемы с емкостной и автотрансформаторной связью является схема генератора, изображенная на рис. 66,*б*. В ней в целях упрощения роль катушки контура выполняет стирающая головка *ГС*. Величина обратной связи может подбираться изменением емкости конденсаторов $C_с$. Высокочастотное напряжение для подмагничивания снимается через резонансный трансформатор, настроенный

на основную частоту колебаний. Это улучшает форму напряжения подмагничивания, делает ее более симметричной.

В заключение рассмотрим одну из возможных схем совмещения генератора высокой частоты с выходным каскадом универсального усилителя, о чем упоминалось в гл. 1. Такая схема приведена на рис. 67. В положении *1* переключа-

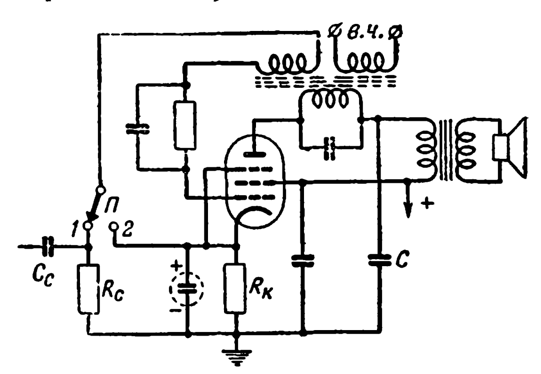


Рис. 67. Схема генератора, совмещенного с выходным каскадом универсального усилителя.

теля *П* схема работает как выходной каскад усилителя. Возникновение высокочастотных колебаний не происходит при этом из-за того, что на управляющую сетку лампы подается значительное напряжение смещения с сопротивления $R_к$. В положении *2* переключателя схема отсоединяется от предыдущих усилительных каскадов, начальное смещение на управляющей сетке лампы становится равным нулю и в схеме возникают колебания. Для прохождения высокочастотной составляющей анодного тока включен конденсатор *C*, шунтирующий выходной трансформатор. Емкость его должна быть, однако, не настолько большой, чтобы при работе каскада в усилительном режиме вызывать ослабление усиления на верхних звуковых частотах.

17. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ

Ниже будут рассмотрены вопросы, относящиеся в равной степени ко всем приведенным выше принципиальным схемам генераторов высокой частоты.

Подключение головок записи и стирания к генератору. Существует несколько схем подачи напряжения стирания и

подмагничивания от генератора к головкам. Первая из них трансформаторная с обмоткой связи, намотанной на общем сердечнике с контуром генератора, приведена на рис. 68,*а*. Если напряжение для стирания значительно отличается от напряжения для подмагничивания, то от обмотки связи делают отвод, к которому подключают головку записи. Подстроечный конденсатор C_1 служит для регулировки подмагничивания. Конденсатор C_2 ослабляет низкочастотный ток

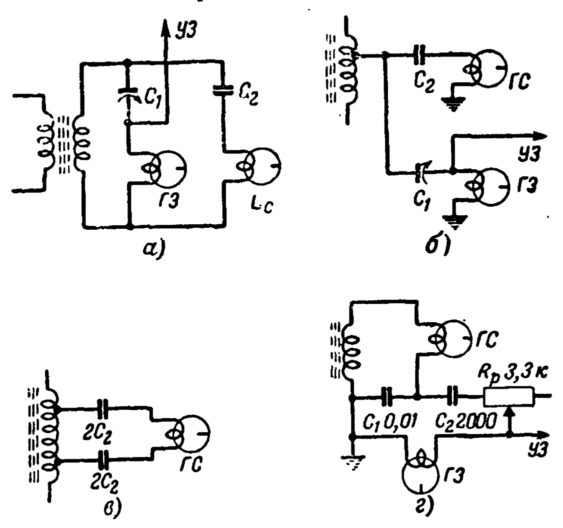


Рис. 68. Различные схемы связи генератора высокой частоты с нагрузкой.

а — трансформаторная схема; *б* — автотрансформаторная схема; *в* — автотрансформаторная схема связи двухтактного генератора с головкой стирания; *г* — схема, использованная в магнитофоне МЭЗ-15.

(50, 100 и 150 *гц*), который может возникнуть из-за наводок в обмотке связи со стороны внешних или внутренних источников фона. Емкость этого конденсатора должна выбираться такой, чтобы резонансная частота образующегося контура C_2L_c не совпадала с частотой стирания. Если $\omega_{рез} = \omega_c$, то напряжение стирания будет резко изменяться при смене головок в процессе эксплуатации из-за неизбежного различия в их индуктивности и сопротивлении потерь. Обычно выбирают $\omega_{рез} < \omega_c$, так как при $\omega_{рез} > \omega_c$ значительная часть напряжения обмотки падает на конденсаторе C_2.

Вторая схема связи генератора с головкой (автотрансформаторная) показана на рис. 68,*б*. Она не требует обмотки связи и, следовательно, конструктивно проще. Головка стирания подключается к отводу от катушки контура генератора через разделительный конденсатор C_2 а головка записи — через регулировочный конденсатор C_1. Оба конденсатора имеют одинаковое назначение и одинаковую емкость с соответствующими конденсаторами на рис. 68,*а*. Если генератор собран по двухтактной схеме, то к контуру можно подключить только головку стирания (рис. 68,*в*), так как головка записи, будучи соединена в усилителе одним концом с шасси, при подключении по автотрансформаторной схеме вызовет нарушение симметрии генератора. Поэтому автотрансформаторная связь с двухтактным генератором допустима лишь в том случае, когда он собран по схеме рис. 66,*а*, в которой имеется отдельный выход для подключения головки записи.

Третья схема связи показана на рис. 68,*г*. Она применяется в радиовещательном магнитофоне типа МЭЗ-15. Напряжение высокой частоты с обмотки связи через конденсатор C_1 подводится к стирающей головке. Падение напряжения на конденсаторе используется как напряжение подмагничивания. Через разделительный конденсатор C_2, не пропускающий ток звуковой частоты в генератор и регулятор подмагничивания (переменное сопротивление $R_р$), это напряжение подводится к головке записи.

Преимуществом данной схемы является дополнительная фильтрация высокочастотных колебаний генератора конденсатором C_1. Относительная величина содержания четных гармоник в напряжении на этом конденсаторе меньше, чем в напряжении на обмотке связи, так как сопротивление конденсатора для высших гармоник меньше, чем для основной частоты. Что же касается использования в данной схеме регулировки подмагничивания переменным сопротивлением, а не конденсатором, как в предыдущих схемах, то ее нельзя считать удачной, так как на сопротивлении $R_р$ затрачивается значительная мощность высокой частоты. Исключить это сопротивление из схемы и вести регулировку конденсатором C_2 практически нельзя ввиду значительной величины последнего.

Ослабление помех, создаваемых генератором. Генератор высокой частоты может оказывать вредное воздействие на усилители магнитофона и на расположенные вблизи радиоприемники из-за неизбежного излучения части высокоча-

стотной энергии. Существует ряд способов ослабить это воздействие.

Во-первых, стремятся уменьшить само излучение, для чего головки стирания и записи заключают в экраны, а провода, подводящие к ним высокую частоту, свивают и тоже экранируют. Генератор стараются монтировать компактно и в некоторых случаях помещают целиком в отдельную металлическую коробку. Не рекомендуется также применять катушки контура без сердечников и с незамкнутыми сердечниками. Наилучшим является тороидальный сердечник, при котором магнитное поле рассеяния практически отсутствует. Хорошие результаты дают и сердечники броневого типа (СБ-3а, СБ-4а). При монтаже генератора не следует устанавливать катушку контура ближе, чем на 5—10 *мм* от шасси и экранов (во избежание значительных потерь энергии высокой частоты). Особенно нужно удалять катушки, намотанные без сердечника или на сердечниках с разомкнутой магнитной цепью.

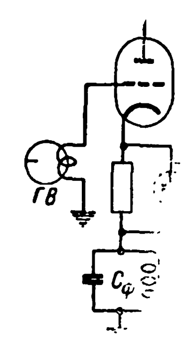


Рис. 69. Схема включения фильтра-пробки, защищающей усилитель воспроизведения от воздействия генератора высокой частоты во время записи.

Кроме названных мер, ослабляющих само высокочастотное излучение, применяют и меры защиты от действия этого излучения. Так, например, в схемах усилителя записи включают фильтр-пробку. Такую же фильтр-пробку, настроенную на частоту стирания, включают иногда в катодную цепь лампы первого каскада усилителя воспроизведения для защиты этого усилителя от воздействия высокой частоты во время записи (рис. 69). На резонансной частоте сопротивление фильтра-пробки становится очень большим, и в каскаде возникает сильная обратная связь по току, вследствие чего усиление каскада для частоты стирания резко ослабляется.

Для уменьшения проникновения высокой частоты в провода осветительной сети в магнитофоне включают специальный заградительный фильтр или просто соединяют оба сетевых провода с шасси через конденсаторы емкостью 0,1—0,25 *мкф*.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ИНДИКАТОРЫ УРОВНЯ

18. УРОВЕНЬ ЗАПИСИ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

Под уровнем той или иной записи понимают степень полезной намагниченности ленты, на которой произведена запись. Этот уровень не остается постоянным. Он непрерывно изменяется по длине ленты, и мы можем поэтому говорить лишь о его максимальном или среднем эффективном значении. Среднее значение уровня при прочих равных условиях определяет громкость воспроизведения данной записи. Чем выше уровень записи, тем меньшее усиление требуется при воспроизведении и проще становится магнитофон.

Вследствие этого уровень записи желательно повышать. Однако это связано с заходом в нелинейную область рабочей характеристики намагничивания ленты и ростом нелинейных искажений. Поэтому для каждого типа ленты устанавливается некоторое, максимально допустимое, значение уровня записи.

В качестве меры измерения уровня записи принято эффективное значение остаточного магнитного потока фонограммы в пересчете на 1 *мм* ее ширины. Так, например, для ленты типа 1 уровень записи в 16 *ммкс/мм* является максимально допустимым, так как при нем коэффициент нелинейных (гармонических) искажений достигает уже 3%. При обычной ширине ленты 6,35 *мм* это соответствует эффективному значению потока 100 *ммкс*. Для ленты типа 2 допустим более высокий уровень записи (около 25 *ммкс/мм* или в пересчете на ширину ленты 6,35 *мм* — 160 *ммкс*) при том же коэффициенте искажений.

Во время записи необходимо контролировать ее уровень, следить за тем, чтобы он, с одной стороны, не превышал максимально допустимого для данной ленты значения, а с другой — не был и слишком мал, иначе запись будет воспроизводиться тихо, а относительная величина собственных шумов магнитофона станет большой.

Каким же путем можно измерять уровень записи? Известно, что всякое измерение физической величины ведется путем сопоставления ее с однородной величиной, принятой за единицу или выраженной известным количеством этих единиц. В качестве такой опорной величины при измерении уровня записи служит контрольная лента (тестфильм), используемая при настройке магнитофона. Одна из частей этой контрольной ленты содержит запись средней частоты

(400 *гц*) с точно известным эффективным значением остаточного магнитного потока, обычно равным половине максимально допустимого.

Так, например, контрольная лента для магнитофонов с рабочей скоростью 762 *мм/сек*, в которых используется лента типа *1*, содержит в своей первой части запись с эффективным значением потока 50 *ммкс*, а контрольные ленты для магнитофонов со скоростями 381, 190 и 95 *мм/сек*, в которых используется лента типа 2, содержат запись с эффективным значением потока 80 *ммкс*.

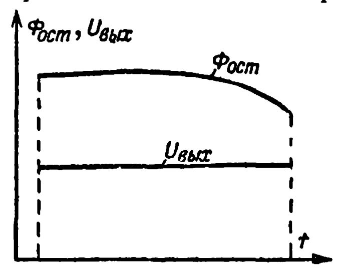


Рис. 70. Частотные характеристики остаточного магнитного потока в контрольной ленте и выходного напряжения магнитофона при ее воспроизведении.

Имея контрольную ленту как опорную величину, нужно сопоставить ее с испытуемой, лентой, уровень записи которой подлежит определению. Такое сопоставление производится путем последовательного пропускания через канал воспроизведения со стандартной частотной характеристикой (см. § 6) сначала контрольной, а затем испытуемой ленты. Пусть в первом случае выходное напряжение будет обозначено как U_x, а во втором как $U_э$. Напомним, что в канале воспроизведения со стандартной частотной характеристикой выходное напряжнение при воспроизведении частотной контрольной ленты постоянно.

На рис. 70 показаны частотная характеристика остаточного магнитного потока в этой ленте и частотная характеристика выходного напряжения. Здесь видно, что в каком-то диапазоне (примерно до 1 000 *гц*) можно считать выходное напряжение прямо пропорциональным эффективному значению остаточного магнитного потока. Если испытуемая лента содержит запись в указанном частотном диапазоне, то ее уровень

$$\Phi_x = \Phi_э \frac{U_x}{U_э},$$

где $\Phi_э$ — эффективное значение остаточного магнигного потока в контрольной ленте;

Φ_x — то же значение в испытуемой ленте.

Оставим пока в стороне вопрос о том, как измерять уровень, если запись произведена в более широком диапазоне чем до 1 000 *гц*, и остановимся на практических вопросах сопоставления контрольной и испытуемой лент.

Воспроизведение контрольной ленты и замер напряжения $U_э$ необязательно проводить перед измерением каждой испытуемой ленты. Обычно коэффициент усиления усилителя воспроизведения самопроизвольно или вследствие изменения напряжения питания изменяется весьма мало. Поэтому достаточно 1 раз воспроизвести контрольную ленту (как говорят, «прокалибровать» канал воспроизведения), с тем чтобы потом длительное время пользоваться им для измерения уровня.

Предположим, что выходное напряжение при воспроизведении контрольной ленты с эффективным значением остаточного магнитного потока 80 *ммкс* было равно 3 *в*. Если при воспроизведении испытуемой ленты оно доходило до 6 *в*, то мы можем сказать, что магнитный поток в ней достигал 160 *ммкс*.

Очевидно, что определение уровня записи важно производить не после ее окончания, а в процессе самой записи, с тем чтобы иметь возможность своевременно исправлять его отклонения за установленные пределы. Если магнитофон имеет сквозной канал записи — воспроизведения, то это не представляет трудности. В этом случае предварительно воспроизводят контрольную ленту и определяют выходное напряжение магнитофона, соответствующее максимально допустимому уровню записи. Далее, в процессе записи контролируют выходное напряжение и по нему судят об уровне записи. Измеритель выходного напряжения, специально предусматриваемый для этой цели в магнитофоне, называют индикатором уровня (точнее было бы сказать — измерителем уровня, однако первое название получило бо́льшее распространение).

В магнитофоне, не обладающем сквозным каналом записи — воспроизведения (с одним универсальным усилителем), определение уровня в процессе самой записи производится косвенным образом. Индикатор уровня измеряет в этом случае напряжение, подводимое к цепи головки записи. Путем ряда предварительных проб выясняют, при какой величине этого напряжения запись получается с максимально допустимым уровнем, и производят запись так, чтобы не превышать данное напряжение. Косвенное измерение уровня дает правильный результат только при той

ленте, на которой проводились пробы. Смена ленты на другую с большей или меньшей чувствительностью приведет, естественно, к тому, что при том же напряжении в цепи головки уровень записи будет получаться больше или меньше.

19. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНДИКАТОРАМ УРОВНЯ

По принципу действия индикаторы уровня в магнитофонах представляют собой вольтметры переменного тока той или иной системы, однако использование их в магнитофонах определяет некоторые рассматриваемые ниже специфические особенности.

Прежде всего чувствительность индикатора уровня должна соответствовать напряжению, подводимому к нему в магнитофоне.

Индикатор уровня не должен вносить искажений в измеряемый сигнал. Входное сопротивление индикатора во всем рабочем диапазоне частот должно быть в 5—10 раз больше выходного сопротивления той части схемы, где он подключается. Это обеспечивает отсутствие вносимых частотных искажений.

В ряде схем индикаторов благодаря наличию на входе нелинейного элемента (например, германиевого диода) входное сопротивление непостоянно и зависит от величины и направления приложенного напряжения. В этом случае, чтобы избежать возникновения в магнитофоне при подключении индикатора дополнительных нелинейных искажений, необходимо, чтобы минимальное входное сопротивление индикатора было в 15—25 раз больше выходного сопротивления той части схемы, к которой он подключается.

Индикатор уровня должен иметь достаточный диапазон измерений и обеспечивать удобный отсчет уровня записи. Для любительской звукозаписи считают достаточным диапазон измерений 12 *дб* (соотношение крайних измеряемых величин 4 : 1), а для профессиональной звукозаписи 40—50 *дб* (100 : 1—300 : 1). В последнем случае индикатор должен иметь шкалу, проградуированную в децибелах или в процентах от максимального уровня записи.

Так как индикатор уровня используется для измерения быстро меняющихся по величине напряжений, он должен успевать реагировать на эти быстрые изменения. Иначе отдельные кратковременные повышения уровня записи не бу-

дут отмечены, возникнут перемодуляция ленты и нелинейные искажения в записи.

В связи с этим возникает вопрос, что следует понимать под кратковременными повышениями уровня? Эксперименты показали, что даже значительные искажения, длящиеся менее 10—20 *мсек,* не обнаруживаются на слух. Поэтому не имеет смысла применять безынерционные индикаторы, способные отмечать мгновенные изменения уровня. Вполне достаточно, чтобы они успевали отмечать опасные с точки зрения ощущаемости искажений повышения уровня, т. е. те, которые длятся более 10—20 *мсек*. Существенные для выполнения этого требования свойства индикаторов характеризуются двумя показателями: так называемой постоянной времени индикатора и баллистическими свойствами входящего в состав индикатора уровня измерителя, например гальванометра.

Постоянной времени индикатора τ называют продолжительность периодических импульсов напряжения звуковой частоты, подаваемых на вход индикатора, при которой его показания составляют 80% от истинной величины амплитуды импульсов. Импульсы продолжительностью менее τ будут измеряться индикатором с явным преуменьшением их истинной величины. Таким образом, постоянная времени индикатора уровня показывает ту минимальную продолжительность действия входного напряжения, при котором величина его будет оценена индикатором с ошибкой, не превосходящей 20%. Если сопоставить это с тем, что было сказано об ощущаемости кратковременно повышенных искажений, то нетрудно придти к выводу, что постоянная времени τ должна находиться в названных ранее пределах, т. е. 10—20 *мсек.*

Если постоянная времени τ дает ответ на вопрос о том, насколько точно будет измерено то или иное импульсное напряжение, то баллистические свойства измерителя показывают, с каким запозданием это измерение (отсчет показания) будет сделано. Действительно, из-за инерции некоторых измерителей (например, стрелки гальванометра) движение их происходит с конечной скоростью, и показания будут всегда запаздывать на некоторое время. Если оно не превышает 200 *мсек,* то это обычно не является недостатком, так как сам оператор все равно не успевает быстрее реагировать.

Чтобы облегчить наблюдения за индикатором уровня, обратное движение измерителя (к нулевому отсчету) ис-

кусственно замедляют до 1,5—2 *сек*. Это делает изменения показаний индикатора более плавными и не так утомляет наблюдающего за ним оператора.

В магнитофонах находят применение индикаторы двух типов: индикаторы максимального уровня и индикаторы среднего уровня. Первые имеют постоянную времени $\tau = 10—20$ *мсек*, и их показания позволяют непосредственно следить с необходимой точностью за величиной уровня записи. Однако такие индикаторы достаточно сложны, и поэтому в более простых магнитофонах применяют индикаторы среднего уровня с постоянной времени $\tau = 200$ *мсек*. Эти индикаторы дают преуменьшенные значения уровня, так как кратковременные его повышения, длящиеся менее 200 *мсек*, практически не регистрируются. Однако в простых магнитофонах с этим недостатком приходится мириться. До некоторой степени его можно избежать, если производить запись по индикатору среднего уровня с немодуляцией или, что более удобно, настраивать индикатор так, чтобы его максимальные показания соответствовали примерно 30—40% от максимально допустимой величины уровня.

В Советском Союзе в профессиональной звукозаписи приняты индикаторы уровня с постоянной времени 60 *мсек*. Многочисленные опыты показали, что такие индикаторы дают на коротких импульсах (20 *мсек*) вдвое преуменьшенные показания по сравнению с индикаторами максимального уровня. Поэтому, чтобы избежать перемодуляции ленты, их настраивают по контрольной ленте так, чтобы максимальное показание индикатора соответствовало 50% максимально допустимого уровня записи. Этим и объясняется то, что выпускаемые у нас контрольные ленты содержат запись с уровнем, вдвое меньшим максимального.

Преимущество индикаторов уровня с $\tau = 60$ *мсек* по сравнению с индикаторами максимального уровня заключается в бо́льшей простоте, а по сравнению с индикаторами среднего уровня — в бо́льшей точности измерений.

20. ТИПЫ ИНДИКАТОРОВ УРОВНЯ

Ниже мы рассмотрим ряд практически используемых в магнитофонах схем индикаторов уровня.

Стрелочный индикатор среднего уровня. Схема данного индикатора приведена на рис. 71. Как видно из схемы, он представляет собой купроксный вольтметр. В зависимости от величины сопротивления *R* и типа гальванометра *И* чув-

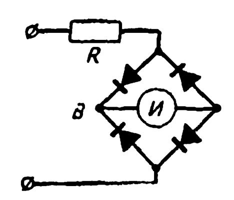


Рис. 71. Схема индикатора среднего уровня.

В — купроксный выпрямитель типа ВК-07,02; *И* — микроамперметр типа ИТ-1 (0—100 *мка*).

ствительность индикатора может быть разной, но обычно она не превышает 1 *в* на всю шкалу.

Недостатком этого индикатора является относительно низкое и к тому же нелинейное (из-за купроксного выпрямителя) входное сопротивление. Увеличивая *R*, можно повысить входное сопротивление индикатора, но при этом снижается его чувствительность.

Этот индикатор не находит широкого применения, так как для магнитофонов домашнего применения он дорог, а для магнитофонов профессионального типа недостаточно качественен.

Стрелочный индикатор уровня типа РИ-58. Данный индикатор применяется в Советском Союзе в качестве типового для профессиональной звукозаписи (индикатор разработан во Всесоюзном научно-исследовательском институте звукозаписи). Схема его без выпрямителя приведена на

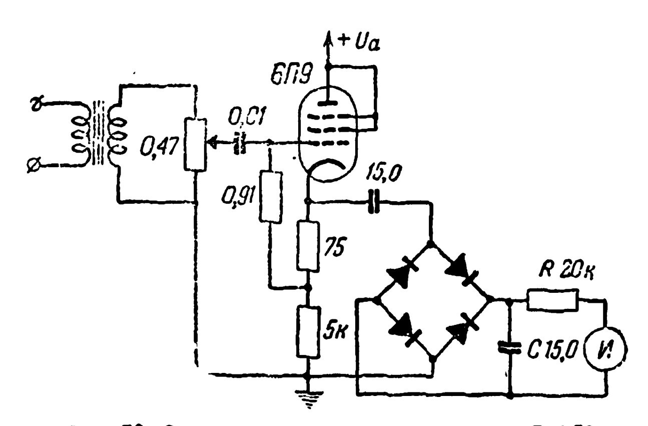


Рис. 72. Схема индикатора уровня типа РИ-58.

И — микроамперметр 0—200 *мка*.

рис. 72. Индикатор представляет собой сочетание лампового усилителя с катодным выходом и вольтметра с полупроводниковым выпрямителем. Постоянная времени индикатора равна 60 *мсек*. Время обратного движения стрелки по всей шкале составляет 2—3 *сек*.

Благодаря входному трансформатору чувствительность

индикатора достаточно высока (до 0,3 *в*), а его входное сопротивление линейно и в звуковом диапазоне частот не менее 5 000 *ом*. Вход индикатора симметричный.

Диапазон измерений индикатора около 30 *дб*. Такой большой диапазон достигается благодаря применению в гальванометре полюсных наконечников специальной формы. При этих наконечниках межполюсное расстояние увеличивается по мере отклонения стрелки прибора вправо, и чувствительность прибора соответственно понижается к концу шкалы, что позволяет измерять бо́льший диапазон изменений тока.

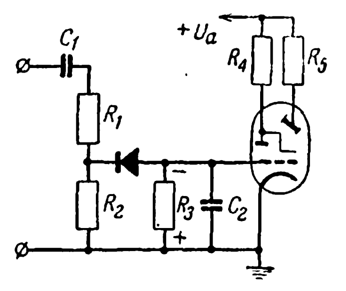


Рис. 73. Схема индикатора уровня с электронно-оптическим указателем.

Постоянная времени прибора получается меньше, чем при схеме, приведенной на рис. 71, из-за накопления заряда на конденсаторе *С*, который достаточно быстро заряжается через низкое выходное сопротивление катодного повторителя и внутреннее сопротивление германиевых диодов. Увеличение времени обратного движения стрелки объясняется разрядом конденсатора *С* через прибор и сопротивление *R*.

Если нет необходимости в симметричном входе и большой чувствительности, то схема может быть упрощена посредством исключения входного трансформатора.

Индикатор уровня с электронно-оптическим указателем. Этот индикатор благодаря его простоте и дешевизне широко используется в магнитофонах домашнего применения. Схема индикатора приведена на рис. 73. Она может быть построена с электронно-оптическим указателем любого типа (например, 6Е5С или 6Е1П). При этом сопротивления R_4 и R_5 должны выбираться в соответствии с рекомендованным для данного указателя режимом работы.

Входное напряжение через делитель R_1R_2 подводится для выпрямления к германиевому диоду *Д*. Делитель позволяет подбирать требуемую чувствительность индикатора (максимальная величина ее составляет примерно 5 *в*). Он увеличивает также входное сопротивление индикатора и делает его более линейным. Выпрямленное напряжение на сопротивлении нагрузки R_3 приложено «минусом» к сетке указателя и вызывает изменение ширины его затемненного

сектора, чем и определяется величина измеряемого уровня.

Конденсатор C_2 устраняет быстрые колебания потенциала сетки и размытость краев затемненного сектора. Так как этот конденсатор заряжается через сравнительно небольшое сопротивление (R_2 плюс сопротивление германиевого диода), постоянная врмени индикатора может быть получена порядка 100—200 *мсек*, т. е. индикатор может быть отнесен к числу индикаторов среднего уровня.

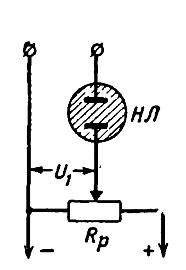


Рис. 74. Схема индикатора уровня с неоновой лампой.



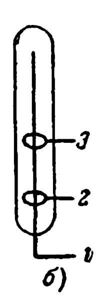


Рис. 75. Две конструкции газосветных индикаторов уровня.

Обратное расхождение краев затемненного сектора происходит значительно дольше, так как сопротивление R_3, через которое конденсатор C_2, разряжается, может быть выбрано достаточно большим. В некоторых схемах сопротивление R_3 отсутствует, и разряд конденсатора C_2 происходит через обратное сопротивление германиевого диода. В такой схеме время возвращения указателя (затемненного сектора) в исходное положение может быть доведено до 1,5 *сек*.

Индикаторы с газосветными лампами. Известно, что свечение газосветных ламп (например, неоновых) наступает лишь при достижении напряжения на них определенной величины, называемой напряжением зажигания. Это позволяет использовать газосветные лампы в качестве простейших индикаторов, причем в этом случае производится не измерение уровня, а лишь контроль его максимально допустимой величины.

Схема включения неоновой лампы *НЛ* в качестве индикатора уровня приведена на рис. 74. С потенциометра

$R_р$ на лампу подается напряжение U_1, близкое к потенциалу зажигания лампы $U_з$. Благодаря вспомогательному напряжению U_1 чувствительность индикатора повышается, так как зажигание лампы происходит при достижении измеряемым уровнем величины $U_з - U_1$.

Кроме того, что данный индикатор не имеет диапазона измерений, существенным недостатком его являются большие нелинейные искажения, возникающие в схеме, к которой подключен индикатор, при свечении лампы.

Лучшие результаты дает использование газосветных ламп специальной конструкции. В первой из них (рис. 75,*а*) электроды расходятся в трубке под некоторым углом. При постепенном увеличении напряжения свечение возникает сначала только в нижней части трубки, где электроды больше сближены, а затем оно распространяется на всю трубку. Таким образом, высота светящегося столба газа в трубке является указателем приложенного напряжения. Однако и эта конструкция не свободна от возникновения нелинейных искажений в схеме, к которой подключают индикатор.

Вторая специальная конструкция газосветной лампы показана на рис. 75,*б*. Постоянное напряжение, достаточное для зажигания лампы, подводится к электродам *1* и *2*. Отрицательное напряжение на электроде *3* (по отношению и электроду *1*) изменяет высоту светящегося столба газа, что и используется для измерения уровня. Измеряемое переменное напряжение выпрямляется германиевым диодом (так же, как и в схеме на рис. 73) и подводится к электроду *3*. Так как ток в цепи этого электрода практически отсутствует, величина вносимых нелинейных искажений получается сравнительно небольшой — такой же, как и в индикаторах с электронно-оптическим указателем.

21. ВКЛЮЧЕНИЕ ИНДИКАТОРА УРОВНЯ В СХЕМУ МАГНИТОФОНА

Рассмотрим предварительно случай, когда имеется сквозной канал записи — воспроизведения и выясним, где в этом случае должен быть включен индикатор уровня. В § 18 было установлено, что если говорить об измерении уровня на низких и средних частотах, то наиболее точным является включение индикатора на выходе канала воспроизведения. При этом на измерения не влияют ни различия в чувствительности лент, ни режим записи, ни данные записывающей головки. Этот вывод совершенно справедлив,

если не рассматривать измерение уровня на высоких частотах, имеющее свои особенности.

Напомним, что измерение уровня (контроль за его максимальной величиной) нас интересует главным образом с той точки зрения, чтобы нелинейные искажения в записи не превысили допустимую величину. На низких и средних частотах существует пропорциональность между величиной нелинейных искажений и остаточным магнитным потоком ленты, а также между остаточным магнитным потоком и выходным напряжением магнитофона. Поэтому контроль выходного напряжения позволяет на этих частотах не допускать нелинейных искажений выше определенного значения.

Иначе обстоит дело на высоких частотах. При одном и том же магнитном воздействии на ленту остаточный магнитный поток получается на этих частотах намного меньше, чем на средних и низких из-за саморазмагничивания ленты и влияния поля рассеяния записывающей головки. Поэтому одна и та же величина нелинейных искажений получается на этих частотах при меньшем значении остаточного магнитного потока, чем на средних и низких частотах. Контроль величины магнитного потока (по выходному напряжению) становится, таким образом, недостаточным.

Более точно — контролировать силу магнитного воздействия на ленту при записи, определяемую током в записывающей головке. Пропорциональность между величиной этого тока и значением нелинейных искажений в записи сохраняется практически во всем диапазоне звуковых частот.

Для контроля по току записи достаточно, например, подсоединить индикатор уровня параллельно сопротивлению, включенному последовательно с головкой записи. Если в магнитофоне со сквозным каналом включить два одинаковых индикатора (один на выходе магнитофона, а другой так, как указывалось для контроля по току записи), то второй индикатор во время записи будет иногда давать бо́льшие показания, чем первый (за счет действия высокочастотной коррекции в усилителе записи). Его показания будут более правильны, так как они учитывают возрастание магнитного воздействия на ленту на высоких частотах.

Контроль по току в головке записи имеет, однако, свои недостатки, связанные с трудностью установления максимально допустимого значения тока. Обычно настройка та-

кого индикатора ведется следующим образом. Сначала воспроизводится контрольная лента с записью средней частоты с максимальным уровнем и измеряется выходное напряжение (если контрольная лента содержит запись с половинным уровнем, то величина напряжения удваивается). Далее, производится ряд записей средней частоты с различными значениями тока записи. По выходному напряжению магнитофона определяют, при каком токе намагниченность ленты получается максимально допустимой. После этого индикатор настраивают регулятором чувствительности так, чтобы его максимальное показание соответствовало найденному значению тока. Очевидно, что такая настройка индикатора нарушается, если сменить ленту, головку записи или изменить величину подмагничивания. Точность измерений поэтому получается невысокой, если только не повторять процедуру настройки индикатора перед каждой записью.

Более точный контроль получается при включении индикатора уровня на выход магнитофона через частотный корректор с характеристикой, соответствующей характеристике усилителя записи. Благодаря включению через корректор индикатор уровня будет давать показания, совпадающие с показаниями индикатора тока записи. В то же время благодаря включению на выход магнитофона показания индикатора не будут зависеть от чувствительности ленты, головки записи и режима подмагничивания. Частотный корректор может быть выполнен в виде несложного *RC*-четырехполюсника. Возможно также введение частотной коррекции в схему самого индикатора.

Рассмотрим теперь включение индикаторов уровня в схему магнитофонов, не имеющих сквозного канала, т. е. магнитофонов с универсальным усилителем. В этих случаях индикатор включается для контроля по току записи. Способ настройки индикатора, а также преимущества и недостатки такого включения были уже рассмотрены выше применительно к магнитофону со сквозным каналом. Поэтому мы остановимся лишь на схемах включения.

Если коррекция при записи осуществляется в схеме самого универсального усилителя, то для контроля по току индикатор уровня достаточно включить параллельно цепи головки записи (рис. 76). Благодаря действию ограничительного сопротивления R ток головки пропорционален напряжению записи $U_з$, измеряемому индикатором.

Если же коррекция при записи осуществляется не в универсальном усилителе, а в его выходной цепи (см. рис. 62),

то включение индикатора, аналогичное предыдущему, не обеспечивает контроля по току записи, так как соотношение между напряжением на выходе усилителя и током записи изменяется с частотой. Строго говоря, здесь надо прибегать к схеме, показанной на рис. 77, в которой индикатор уровня измеряет падение напряжения на дополнительном сопротивлении R. Однако эта схема применяется редко. Она

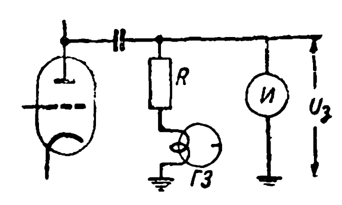


Рис. 76. Схема подключения индикатора уровня к универсальному усилителю.

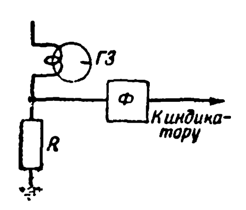


Рис. 77. Схема подключения индикатора уровня для контроля по току записи.

требует очень большой чувствительности индикатора, так как сопротивление R должно быть мало. Кроме того, при этой схеме индикатор уровня надо защищать от действия тока подмагничивания при помощи фильтра $Ф$.

Поэтому и в тех случаях, когда коррекция записи производится в выходной цепи, применяют схему, приведенную на рис. 76. Неизбежную при этом неточность измерения уровня на высоких частотах можно считать допустимой для подобных простых магнитофонов с универсальным усилителем.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные качественные показатели магнитофонов (соответствуют ГОСТ 08088-56)

Параметр	Группа магнитофонов					Примечание
	Первая	Вторая	Третья	Четвертая	Пятая	
Скорость движения ленты, *мм/сек*	762	381	190,5	95,3	менее 95,3	Для пятой группы рекомендуются скорости 95,3/2, 95,3/4 и т. д. *мм/сек*
Частотный диапазон, *гц*	30—15 000	30—15 000	50—10 000	100—6 000	—	—
Границы полосы неравномерности частотной характеристики сквозного канала	60 *гц* < f < 10 000 *гц*: 0,—3 *дб* в остальной части диапазона: 0,—5 *дб*		f=200÷6 600 *гц*: 0,—4 *дб* 100 *гц*=f<200 *гц*: +3,—4 *дб* 50 *гц*=f<100 *гц*: +3,—7 *дб* f>6 600: +3,—7 *дб*	f=400÷4 000 *гц*: 0,—4 *дб* 200 *гц*=f<400 *гц*: +3,—4 *дб* 100 *гц*=f<200 *гц*: +3,—7 *дб* f>4 000 *гц*: +3,—7 *дб*	—	—
Границы полос неравномерности частотной характеристики канала воспроизведения	60 *гц* < f < 10 000 *гц*: 0,—3 *дб* в остальной части диапазона: 0,—4 *дб*		f=200÷6 600 *гц*: 0,—3 *дб* 100 *гц*=f<200 *гц*: +3,—3 *дб* 50 *гц*=f<100 *гц*: +3,—6 *дб* f>6 600 *гц*: +3,—6 *дб*	f=400÷4 000 *гц*: 0,—3 *дб* 200 *гц*=f< 400 *гц*: +3,—3 *дб* 100 *гц*=f<200 *гц*: +3,—6 *дб* f>4 000 *гц*: +3,—6 *дб*	—	Характеристики снимаются с применением контрольных лент (тестфильмов)
Отношение уровня шума в сквозном канале к максимальному уровню записи не хуже, *дб*	—60	—60	—35	—35	—	Максимальный уровень записи соответствует эффективному остаточному потоку ленты в пересчете на 1 *мм* ширины фонограммы: 16 *ммкс* для магнитофонов первой группы и 25 *ммкс* для магнитофонов остальных групп
Коэффициент гармоник в сквозном канале на частоте 400 *гц* при максимальном уровне записи и номинальной выходной мощности (напряжении) не более, %	3	2	5	5	—	—
Отклонение скорости от номинального значения не более, %	±0,2	±0,2	±2	±2	—	—
Пиковое значение коэффициента суммарной детонации не более, %	0,2	0,2*	0,4*	0,8*	—	* Показатели не стандартизованы и приведены на основании практических данных

2. Данные магнитных головок с сердечниками тороидальной формы для фонограмм шириной 6,25 *мм*

Тип головки	Ширина рабочего зазора, *мк*	Ширина заднего зазора, *мк*	Число витков	Индуктивность, *мгн*	Электродвижущая сила[1], *мв*	Ток записи[2], *ма*	Напряжение стирания при частоте 50 *кгц*, *в*	Оптимальное напряжение подмагничивания для частоты подмагничивания 50 *кгц* и ленте типа 2, *в*
Воспроизводящая низкоомная	10—20	0	2×300	60—80	0,6—1	—	—	—
Воспроизводящая высокоомная	10—20	0	2×1 500	1 500—2 000	3—5	—	—	—
Записывающая	10—20	250—350	2×150	7—9	—	1,5	—	20
Универсальная	10—20	150—200	2×1 000	500—600	2—3	0,3	—	120
Стирающая низкоомная . .	250—350	0	2×75	2—2,5	—	—	65—75	—
Стирающая высокоомная .	250—350	0	2×150	7—9	—	—	100—130	—

[1] На частоте 1 000 *гц* при эффективном остаточном потоке ленты 50 *ммкс*.
[2] Обеспечивающий на частоте 1 000 *гц* эффективный остаточный поток 50 *ммкс* для ленты типа 1 и 80 *ммкс* для ленты типа 2.

Цена 3 руб.